

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra výrobních strojů a konstruování

**Použití nedestruktivních metod technické diagnostiky pro zkoušení kolejnic**  
**Nondestructive Testing Application for Rail Examination**

Student: Bc. Michal Podstawka  
Vedoucí diplomové práce: Ing. Jan Blata, Ph.D.

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra výrobních strojů a konstruování

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Michal Podstawka**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství

Specializace: 72 Technická diagnostika, opravy a udržování

Téma: **Použití nedestruktivních metod technické diagnostiky pro zkoušení kolejnic**  
**Nondestructive Testing Application for Rail Examination**

Zásady pro vypracování:

Nedestruktivní diagnostika je důležitou oblastí technické diagnostiky, která má široké uplatnění při odhalování povrchových i podpovrchových necelistvostí a trhlin. Zabývejte se proto možnostmi použití standardních, ale i nových nedestruktivních metod na kolejnice a jiné konstrukční celky. Analyzujte jejich možnosti pro odhalení vad v materiálu. Pro možnosti nedestruktivní diagnostiky vyzkoušejte použití nové metody magnetické paměti kovů (MMM) a další možnosti měření. Získané výsledky analyzujte a zhodnoťte vhodnost a možnosti použitých metod.

V rámci zadání zpracujte:

1. Rešerši a analýzu dané problematiky.
2. Ideově technický návrh řešení dané problematiky.
3. Zpracujte aplikaci na daný objekt.
4. Proveďte potřebná měření.
5. Proveďte konkrétní provozní vyhodnocení.

Podrobnější specifikaci zadání nebo jeho úpravy provede vedoucí práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

VĚCHET, M. a kol.: *Defektoskopie v otázkách a odpovědích* SNTL Praha 1989, 1. vydání, 323 s., ISBN 80-03-00100-5.

ČSN EN 15617 (051185) *Nedestruktivní zkoušení svarů*.

KOPEC, B., ŠMÍD, R.: *Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí : Nauka o materiálu IV.* 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008. 571 s. ISBN 978-80-7204-591-4.

KREIDL, M.: *Senzory neelektrických veličin: Technická diagnostika.* 1.vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2006. 406 s. ISBN 80-7300-158-6.

ULLMANN, J.: *Nedestruktivní zkoušení materiálů: všeobecné znalosti.* 1.vyd. Ostrava: PTS Josef Solnař, 1995. 43 s.

JENČÍK, J. – VOLF, J. A KOL.: *Technická měření.* ČVUT v Praze 2003, 212 s., ISBN 80-01-02138-6

HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost II – Vibrodiagnostika.* VŠB – TU Ostrava, Ostrava 2004, 1. vydání, 178 s., ISBN 80 – 248 – 0650 – 9.

MILÁČEK, S.: *Měření a vyhodnocování mechanických veličin.* ČVUT v Praze 2001, 231 s., ISBN 80.01-02417-2

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Blata, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář  
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty



**Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....15.5.2014.....

..........

Podpis



### Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- было́ сже́днано, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- было́ сже́днано, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě .....15.5. 2014.....

..........

Podpis

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Michal Podstawka

Adresa trvalého bydliště autora práce: Na Kopci 2366/68 Karviná – Mizerov

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

PODSTAWKA, M. *Použití nedestruktivních metod technické diagnostiky pro zkoušení kolejnic: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2014, 83 s. Vedoucí práce: Blata, J.

Diplomová práce se zabývá použitím nedestruktivních metod technické diagnostiky na kolejnicích. Popisuje kolejnice a výhybky, jejich možné vady a lomy, které vznikají za provozu. Dále uvádí přehled všech běžně používaných metod nedestruktivní technické diagnostiky na kontrolu kolejnic. V práci je popsána inovativní metoda – magnetická paměť kovu. Všechny metody, včetně poslední zmíněné, byly prakticky použity na kolejnici v laboratorním měření i v provozu. Nakonec jsou uvedeny výsledky z praktického měření a vhodnost použití inovativní metody na kontrolu kolejnic.

## **ANNOTATION OF MASTER THESIS**

PODSTAWKA, M. *Nondestructive Testing Application for Rail Examination: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2014, 83 p. Thesis head: Blata, J.

Master thesis is dealing with nondestructive testing an application for rails. It describes rails, rail road switches, it's possible operation originated defects and cracks. It presents an overview of all the common nondestructive testing methods applicable for rail control. The thesis describes innovative method – Metal Magnetic Memory. All of the methods including last mentioned were practically used for rail in laboratory and in operation. Master thesis demonstrates results of measurements and suitability of innovative method application for rail examination.

# OBSAH

<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK .....</b>	<b>8</b>
<b>ÚVOD.....</b>	<b>9</b>
<b>1 KOLEJNICE POUŽÍVANÉ NA ŽELEZNIČNÍCH TRATÍCH.....</b>	<b>10</b>
1.1 KOLEJNICE A VÝHYBKY .....	10
1.1.1 Historie kolejnic .....	11
1.1.2 Materiály kolejnic.....	11
1.1.3 Kolejnice .....	12
1.1.4 Výhybky .....	14
1.1.5 Bezстыková kolej .....	16
1.2 VADY A LOMY KOLEJNIC .....	17
1.2.1 Kategorie vad .....	18
1.2.2 Lomy kolejnic.....	18
1.2.3 Vady kolejnic .....	22
1.3 NDT KOLEJNIC .....	28
1.3.1 Základní dělení a klasifikace vad .....	29
<b>2 POUŽÍVANÉ METODY NDT NA KOLEJNICÍCH .....</b>	<b>30</b>
2.1 VIZUÁLNÍ KONTROLA (VT) .....	30
2.2 VÍŘIVÉ PROUDY (ET).....	33
2.3 ULTRAZVUKOVÁ KONTROLA (UT) .....	41
2.4 PROZAŘOVÁNÍ (RT) .....	50
<b>3 INOVATIVNÍ METODA NDT NA KOLEJNICÍCH .....</b>	<b>56</b>
3.1 MAGNETICKÁ PAMĚŤ KOVU (MMM).....	56
<b>4 PRAKTICKÉ POUŽITÍ NDT NA KOLEJNICI .....</b>	<b>60</b>
4.1 KONTROLA KOLEJNICE Z VÝROBY .....	60
4.2 VYTVOŘENÍ UMĚLÝCH VAD .....	66
4.3 NDT KONTROLA.....	69
4.3.1 Vizuální kontrola (VT).....	69
4.3.2 Vířivé proudy (ET).....	69
4.3.3 Ultrazvuková kontrola (UT).....	71
4.3.4 Prozařování (RT).....	73
4.3.5 Magnetická paměť kovu (MMM) .....	75
<b>5 ZÁVĚR.....</b>	<b>79</b>
<b>6 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>81</b>



## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

<b>Zkratka</b>	<b>Cizí výraz</b>	<b>Český výraz</b>
AT		Svar zhotovený technologií aluminotermického svařování
AVG	Abstand, Verstärkung, Größe	Vzdálenost, zesílení, velikost
BK		Bezstyková kolej
CCD	Charge – coupled device	Snímání obrazové informace
ČD		České dráhy
ČR		Česká republika
DAC	Distance Amplitude Curve	Vzdálenost amplitudy od křivky
DIN	Deutsche Industrie Norm	Německá národní norma
ET	Eddy Current Testing	Kontrola vířivými proudy
Hz	Hertz	Jednotka frekvence
LCD	Liquid Crystal Display	Displej z tekutých krystalů
MMM	Metal Magnetic Memory	Magnetická paměť kovu
MT	Magnetic Particle Testing	Magnetická kontrola
NDT	Non – destructive testing	Nedestruktivní zkoušení
PC	Personal Computer	Osobní počítač
SCZ	Stress Concentration Zones	Oblast koncentrace napětí
SDC		Správa dopravní cesty
UIC	Union Internationale des Chemins	Mezinárodní železniční unie
UT	Ultrasonic Testing	Ultrazvuková kontrola
VT	Visual Testing	Vizuální kontrola

## ÚVOD

Hlavním významem nedestruktivního zkoušení kolejnic a jazyků výhybek je zvýšení bezpečnosti provozu. Bezpečnost železniční dopravy je jednou z priorit a je ovlivněna jednak stavem samotných vozů a hlavně stavem tratě. Na tu mají vliv různá provozní zatížení vznikající za provozu, dále potom atmosférické jevy, mechanické namáhání, geologické vlivy a lidský faktor. Použitím různých metod nedestruktivní technické diagnostiky (NDT) se předchází vzniku nebezpečných vad, lomů, ať už vzniklých při výrobě, nebo za provozu. V případě, že by muselo dojít k odstranění poškozeného úseku, má tato skutečnost významný dopad i na ekonomickou stránku v podobě výluky na trati.

Dnes již mají NDT metody široké uplatnění nejen v dopravě železniční, ale i v letecké, automobilové a lodní. K dispozici jsou různé NDT metody pro objektivizaci stavu v tomto případě kolejnic a dochází tak ke zvyšování bezpečnosti. Pomocí NDT lze odhalit povrchové i podpovrchové necelistvosti a trhliny. Tyto vady jsou způsobeny především únavovým namáháním kolejnic na kontaktu kolo – kolejnice. Včasné odhalení vad kolejnic, které by mohly vést k poškození, se nyní považují v železniční dopravě za kritickou činnost údržby kolejnic po celém světě. Pochopení této problematiky má vzrůstající tendenci a dochází k vývoji v celé řadě NDT metod. Technici mají dnes vysoce kvalitní vybavení pro dané kontroly. Kromě údržby kolejnic se zvyšují požadavky na údržbu, resp. kontrolu samotných kolejových vozidel. Rychlá kontrola náprav, kol a podvozků je dnes už nezbytností pro bezpečný provoz kolejové sítě.

První část této práce se zabývá rozбором kolejnic a výhybek, jejich možným poškozením a aplikaci nedestruktivních metod technické diagnostiky. Ve druhé kapitole jsou popsány běžně používané NDT metody a jejich aplikace na kolejnicích. Další kapitola zkoumá inovativní metodu pro použití na kolejnicích, konkrétně magnetickou paměť kovu. Následující kapitola popisuje praktické kontroly pomocí všech NDT metod, které byly provedeny v laboratoři VŠB – TU Ostrava i v provozu. Zároveň jsou zde uvedeny veškeré výsledky z měření.

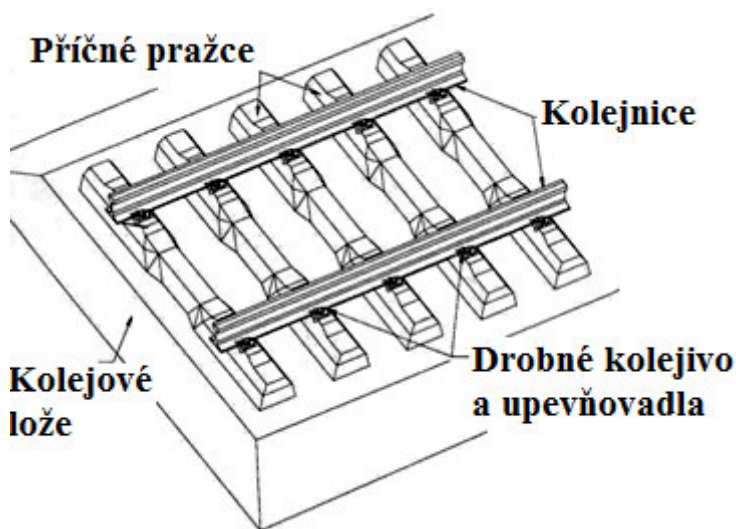
# 1 KOLEJNICE POUŽÍVANÉ NA ŽELEZNIČNÍCH TRATÍCH

Pro tvorbu této kapitoly byla využita literatura [12], [21], [22], [23].

Vývoj v železniční dopravě je provázen především zvýšením rychlostí kolejových vozidel a hmotnosti na nápravu. V důsledku bezpečnosti a již zmíněných faktorů roste kvalita součástí železničního svršku. V provozu se vyskytují různé vady kolejnic a jazyků výhybek, které je zapotřebí jednotně a jednoznačně klasifikovat pro stanovení příčin a vhodných provozních opatření.

## 1.1 Kolejnice a výhybky

Kolejnice je jednou ze základních částí železničního svršku, který vytváří jízdní dráhu pro bezpečné vedení kolejového vozidla a zároveň přenáší veškerá zatížení do železničního spodku. Železniční svršek sestává z kolejnice, kolejnicové podpory, drobného kolejiva, upevňovadla a kolejového lože (Obr. 1.1). Konstrukce železničního svršku se odvíjí zejména od maximální hmotnosti vozidel železnic, dále podle maximální rychlosti a provozního zatížení tratě. Kolejnice se upevňují drobným kolejivem na podpory za pomoci upevňovadel, které jsou schopny zajistit stálou polohu kolejnic a rozchod koleje. Mezi drobné kolejivo se řadí podkladnice, svěrky, spojky, podložky a mezi upevňovadla potom hřeby, vrtule, spojkové a svérkové šrouby, pružné kroužky aj.



Obr. 1.1 Železniční svršek [12]



### 1.1.1 Historie kolejnic

První náznaky kolejnic se datují na 18. století. Využití našly na důlních drahách a jednalo se o dřevěné trámy. Později došlo k vývoji a zkonstruovaly se první dráhy z železných pásů, které byly připevněny k trámům (nazývaly se "koňské dráhy" viz Obr. 1.2). U nás byla první dráha řešena jako koňská a vedla z Budějovic do Lince. Postupným vývojem došlo na využití vozidel s koly, které již byly opatřeny okolkem a nákolkem. Velkým pokrokem tehdy byl rozvoj ve válcování, který umožnil výrobu kolejnic jako válcovaných profilů. V roce 1832 byla poprvé použita kolejnice širokopatní, která se v dnešní době využívá nejčastěji.



*Obr. 1.2 Koňská dráha*

*Zdroj: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Koněspřežná\\_dráha](http://cs.wikipedia.org/wiki/Koněspřežná_dráha)>*

### 1.1.2 Materiály kolejnic

Základním materiálem při výrobě kolejnic je ocel. Ta musí vyhovovat speciálním požadavkům, jako je:

- vysoká odolnost proti opotřebení,
- odolnost proti dynamickému namáhání a odolnost proti rázům.

Materiál musí být vysoce houževnatý a musí mít vysokou tvrdost. To proto, aby byla ocel odolná vůči tlakům a proti rozválnění při pojíždění kol. Ocel použitá na kolejnicích by měla mít schopnost zpevňování za studena, aby se samočinně zvyšovala odolnost proti opotřebení. Ocel nesmí vykazovat vnitřní ani povrchové vady a nesmí se opomenout důležitost mikrostrukturní a makrostrukturní homogenity materiálu, v celém jeho průřezu.

Životnost a opotřebení kolejnic je dáno:

- jakostí a kvalitou oceli,
- charakterem provozu trati,
- konstrukcí samotného pojížděného vozidla,
- atmosférickými podmínkami a mikroklimatem kolejnic.

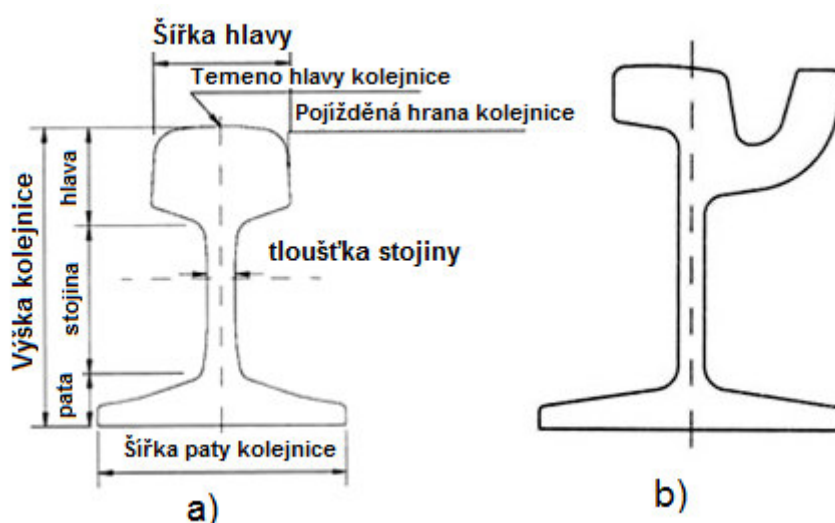
U kolejnicové oceli je velmi důležitá její jakost, ta je dána chemickým složením oceli a jejími mechanickými vlastnostmi. Jedná se o pevnost v tahu a nejnižší tuhost dané oceli. Jako základní materiál při výrobě kolejnic se udává ocel o jakosti 900 A (pevnost v tahu je 880 až 1030 MPa a nejnižší tažnost  $A_5$  je 10 %). Chemické vlastnosti kolejnicové oceli se odvíjí od samotné výroby oceli, zde je důležité složení železné rudy a u mechanických vlastností je velmi důležitý obsah uhlíku. Díky zvýšení množství uhlíku v oceli dochází k vylepšení vlastností, jako je tvrdost, pevnost, odolnost proti obrusu, zároveň však stoupá křehkost. Ocel použitá pro výrobu kolejnic se zušlechťuje přidáním legujících prvků (mangan, nikl, molybden, chrom atd.). Velmi častým legujícím prvkem přidávaným do oceli je mangan, ten zaručí, že je ocel houževnatější, pevnější a odolnější.

### **1.1.3 Kolejnice**

Kolejnice je tedy část železničního svršku, kde dochází ke styku s koly vozidel. Dle tvaru se samotné kolejnice dělí na:

- širokopatní – jsou určeny pro železniční svršek, ale používají se i na tramvajových tratích, nejčastějším typem je S 49 (S z něm. Schiene, což je v překladu kolejnice)
- žlábkové – tyto kolejnice jsou určeny pro tramvajové tratě, nejčastější typ je NT1,
- blokové – pro tramvajové tratě vetknuté ve speciálních panelech,
- jeřábové.

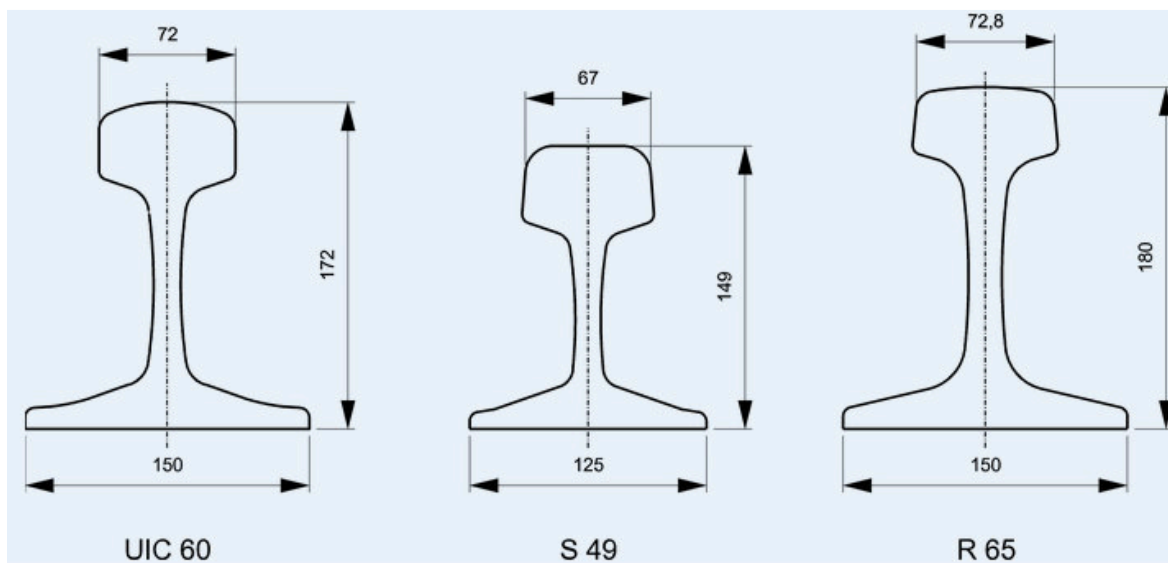
Širokopatní kolejnice (Obr. 1.3 a) se konstruují jako nosník skládající se z paty, stojiny a hlavy. Co se týče tvaru hlavy, ta je mezinárodně stanovena a navíc je ovlivněna tvarem okolku a nákolku. Širokopatní kolejnice se používají pro klasické železnice, ale také v metru, nebo pro tramvajové tratě, kde je dráha oddělena od ostatních druhů dopravy. Žlábkové kolejnice (Obr. 1.3 b) se využívají pro dráhy vedené ve společném tělese vozovky, zejména pro tramvajové tratě, z důvodu zapuštění mezi panely, pro umožnění projíždění ostatních vozidel.



Obr. 1.3 a) – Širokopatní kolejnice; b) – Žlábková kolejnice [12]

V dnešní době se u nás využívají 3 typy tvarů kolejnic, a to S 49, R 65 a UIC 60 (Obr. 1.4). UIC 60 (mezinárodní železniční unie) se využívá hlavně pro silně zatížené tratě, kde dochází k vysokým rychlostem pojezdu a v Evropě jde o standardně používaný typ. V ČR se standardně využívají kolejnice S 49, ale postupně je nahrazují kolejnice R 65, které však nesnesou v porovnání s UIC 60 taková zatížení. Dle evropských standardů se kolejnice označují číslem, které vyjadřuje hmotnost kolejnice na 1 m délky kolejnice písmenem E a patřičným číslem označujícím typ kolejnice. Nové označení pro kolejnici UIC 60 je 60 E1, pro S 49 je to 49 E1.





*Obr. 1.4 Tvary kolejnic používané na tratích ČD*

*Zdroj: <<http://www.4-koridor.cz/index.php?t=article&n=clanek-technika-46>>*

Délky kolejnic se liší v závislosti na použitém tvaru kolejnice, kdy pro tvary UIC 60 a S 49 je základní délka 25 m, u kolejnic tvaru R 65 je délka 20 m a 25 m. Jiné délky než zmíněné je dovoleno použít u přejezdů, v tunelech, na mostech, ve výhybkových konstrukcích, na přechodu z nové koleje na starou a u užitých kolejnic. U bezстыkových kolejí se vyrábějí kolejnice UIC 60 a S 49 v délkách 36 m, 65 m a pro koridory 25 m, 36 m, 75 m. V obloucích jsou kolejnice zkrácené o 50 – 200 mm, ty se označují pro přehlednost barvou, případně štítkem.

#### **1.1.4 Výhybky**

Výhybky a tzv. kolejové křižovatky se řadí mezi nejdůležitější části železničního svršku. Odvíjí se od nich hlavně bezpečnost a plynulost celé železniční dopravy. Patří k nejsložitějším částem tratě a jejich provedení musí být dokonalé, aby nedošlo k vykolejení vozidla. Stálým vývojem kolejí docházelo k vývoji i samotných výhybek, které se musely přizpůsobit novým trendům.

Výhybky se z konstrukčního hlediska rozdělují na:

- jednoduché,
- oboustranné,
- obloukové,

- symetrické,
- dvojité,
- celé a poloviční křížovatkové.

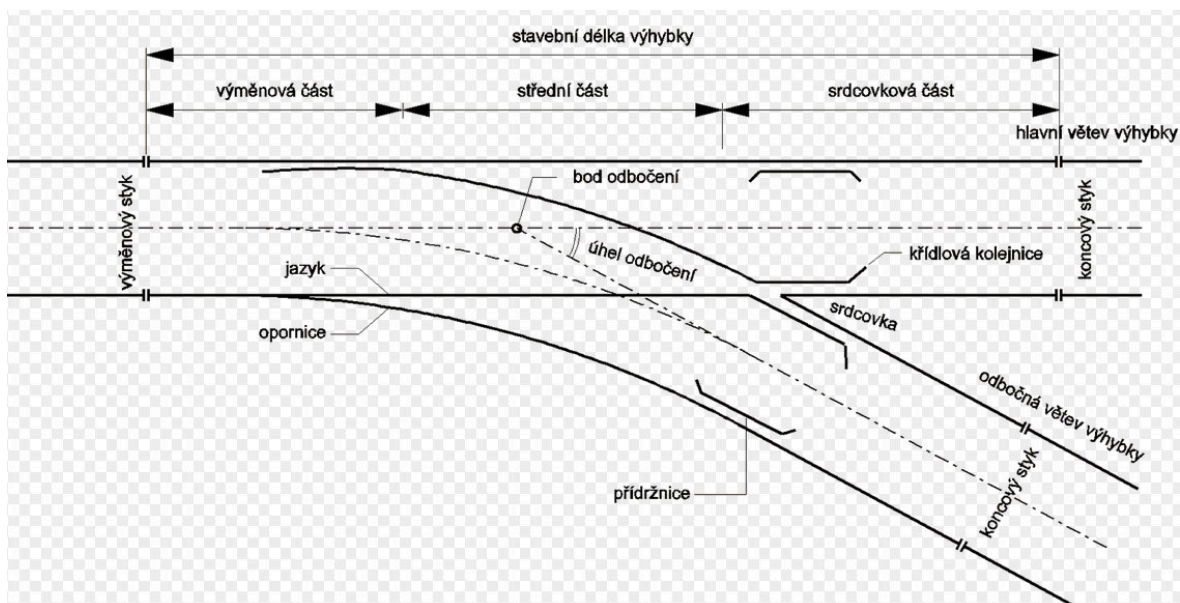
Setkat se lze i s kombinací výhybek ve spojkách, které jsou buď jednoduché, nebo dvojité.

Výhybky jsou zpravidla složeny ze tří základních částí. Jedná se o výměnovou, střední a srdcovou část.

**Výměnová část** je mechanismus, na kterém se rozvětvují koleje do dvou směrů. Složena je z opornice, jazyků (zpravidla dvou) a dalších částí pro správný pohyb jazyků. Jazyk je velmi důležitou součástí, neboť se jedná o jedinou pohyblivou konstrukci přiléhající k opornici. Pro zajištění přestavení jazyků na železniční trati je použit přestavník. Ten může být ruční nebo motorický. Výhybky mohou být opatřeny snímači polohy jazyků, ty se však využívají spíše u tratí vyšších rychlostí.

**Střední část** výhybky je složena z klasické kolejnice běžného tvaru, které mohou být přímé, případně ohnuté do žádaného poloměru. Střední část slouží jako propojení mezi výměnovou a srdcovkovou částí.

**Srdcovková část** je místo, kde dochází ke křížení kolejnic a ke konečnému oddělení kolejí dvou různých směrů. Srdcovková část je složena ze srdcovky, přídržnice a vnější kolejnice. Srdcovka se řadí mezi nejvíce namáhané části celého železničního svršku. Dochází zde totiž k průjezdu kola mezerou pro okolek kola vozidla pohybujícího se v opačném směru, což znamená, že je kolo nevedené a dochází tak k rázům, které zapříčiní snížení pohodlí jízdy a životnost srdcovky. Pro zvýšení pohodlí a kvality chodu se využívají srdcovky s pohyblivými hroty. Ty zajišťují snížení dynamických účinků a rázu při průjezdu kola přes srdcovku. Jejich zařazení resp. použití je ovlivněno úhlem odbočení a rychlostí kolejového vozidla projíždějícího přes srdcovku.



Obr 1.5 Výhybka

Zdroj: <<http://www.4-koridor.cz/index.php?t=article&n=clanek-technika-46>>

Za zmínku jistě stojí odstraňování sněhu z výhybek, což je velmi důležité pro správný chod samotné výhybky. Za nejpoužívanější způsob odstraňování sněhu, případně ledu, je považováno speciální zařízení pracující na principu elektrického ohřevu pomocí odporových tyčí. Tyče se umísťují na vnitřní stranu opornice. Celé zařízení je poté umístěno v jazykové, případně v srdcovkové části výhybky. Dalším používaným zařízením jsou fukary, které mají za úkol pomocí stlačeného vzduchu a trysek odstraňovat sníh, zpravidla u spádoviště. Posledním odstraňovačem resp. ohřevem používaným na tratích je za pomoci zemního plynu nebo propanu. Používá se v místech, kde se vyskytují rozvody plynu a využívají se plynové ohřívače. Ovládání je ruční i automatické.

### 1.1.5 Bezstyková kolej

Pro tvorbu této podkapitoly byla využita literatura [10], [13].

Jedná se o kolej, která je tvořena průběžně svařovanými a upnutými (při dovolené upínací teplotě) kolejnicemi v kolejích a výhybkách. Za bezstykovou kolej se považuje kolej s kolejnicemi svařenými v minimální délce 150 m. Díky tomu, že se kolejnice nespojují pomocí montovaných kolejnicových styků, zabrání se volné dilataci kolejnice při změně teploty. Tím vzniká hladká jízdní dráha, která zvyšuje komfort, bezpečnost a kvalitu jízdy vlaků. Především je to způsobeno nevznikajícími rázy kol, které byly



typické v místech kolejnicového styku. Důležitá je upínací teplota pohybující se okolo 20°C. BK se vyznačuje dvěma dýchajícími konci a střední částí, případně se objevují jen se dvěma dýchajícími konci. Dýchající konec BK se označuje začátek a konec, kdy v konci BK vzniká vlivem teplotních změn dilatační pohyb kolejnice, projevující se jako změna velikosti koncové dilatační spáry. Jeho délka je závislá na velikosti podélného odporu koleje a udává se 75 m. Střední část je pochopitelně mezi dýchajícími konci a při správné velikosti podélného odporu koleje nedojde k žádnému pohybu v této části.

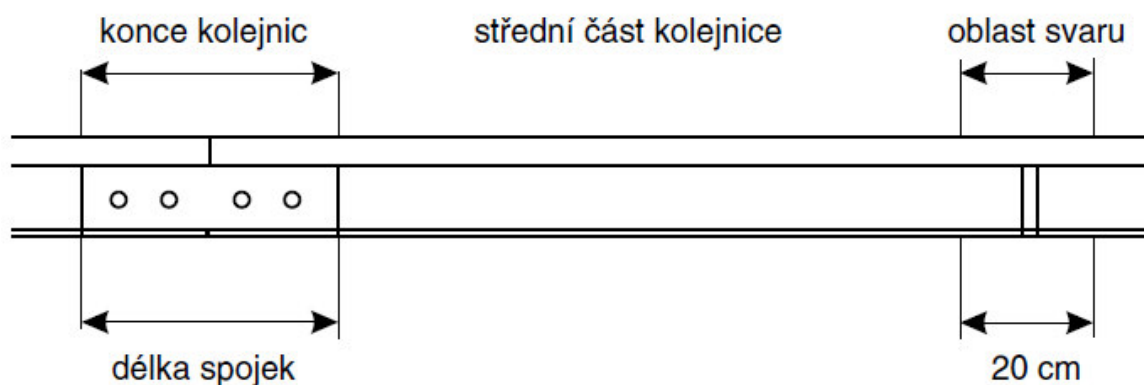
## 1.2 Vady a lomy kolejnic

Pro tvorbu této podkapitoly byla využita literatura [8].

Jedná se o předpis ČD S 67 s účinností od 1.2.1997, který stanovuje zatřídění vad, lomů kolejnic, jazyků výhybek včetně jejich svarů a návarů, kategorizace vad z hlediska jejich závažnosti a příslušná opatření, která je nutné učinit k zajištění bezpečného a plynulého provozu na tratích ČD.

Vady je možno nalézt na koncích kolejnic, uprostřed délky kolejnic nebo v oblasti svarů:

- konec kolejnice – část kolejnice krytá spojkou (pouze u stykované kolejnice),
- střední část kolejnice – celá délka kolejnic mezi jejími konci, resp. oblastmi svarů,
- oblast svaru – část kolejnice, vymezená oboustranně od středu svaru (svislé osy) délkou 10 cm, celkem 20 cm. Každá další vada, která se projeví v této oblasti, se označuje jako vada svaru.



*Obr. 1.6 Rozdělení kolejnice pro kategorizaci vad [8]*

### 1.2.1 Kategorie vad

Dle předpisu S 67 se kategorie vad značí písmeny A až D, kdy pro kategorii A je opatřením bezodkladné odstranění výměnou, případně opravou kritického místa. Dále se dělí na kolej nesjízdnou a sjízdnou. U nesjízdné koleje je nutnosti okamžité vyloučení koleje nebo výhybky z provozu. Pro kategorii B je potřeba odstranění v krátké lhůtě za pomoci výměny, nebo opravy. U kategorie C se vady odstraňují v rámci údržbových prací a to výměnou nebo opravou. Kategorie D udává pouze zvýšené pozorování, které se provádí při běžných vizuálních prohlídkách tratě.

Rychlostní skupina	Hlavní a dopravní koleje pojížděné rychlostí (km/h)	Kategorie B	Kategorie C
1.	Manipulační koleje a koleje pro zvláštní účely	do 3 měsíců	do 2 let
2.	$V \leq 60$	do 1 měsíce	do 1 roku
3.	$60 < V \leq 80$	do 3 týdnů	
4.	$80 < V \leq 140$	do 2 týdnů	do 6 měsíců
5.	$V > 140$	do 1 týdne	

Tab. 1.1 Lhůty pro odstranění vad dle kategorie vady a rychlosti pojíždění [8]

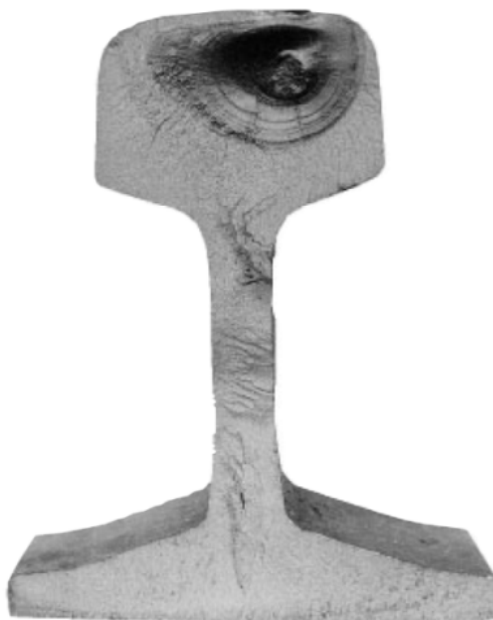
### 1.2.2 Lomy kolejnic

Na Obr. 1.7 lze vidět **křehký lom**, jehož příčina je nadměrné tahové napětí v kolejnicích bezstykové koleje, neucházející stav trati, který způsobuje ohybové napětí v kolejnicích. Překročení dovoleného zatížení, případně vliv vyvolaný plochými koly a lámavost oceli za studena způsobují příčné lomy kolejnic výhradně za nízkých teplot. Pokud nastane tento lom, provede se vizuální prohlídka a vyhodnotí se, jestli nejde o lom z jiných důvodů.



*Obr. 1.7 Křehký lom [8]*

**Lom iniciovaný výrobními vadami** (Obr. 1.8) vzniká vlivem vrubových účinků výrobních vad, které způsobují únavové trhliny a v krajním případě může dojít až k únavovému lomu. V kolejnicích se nejběžněji vyskytují vločky, nekovové vměstky, ostře ohraničené segregace, zaválcované dutiny a vycezeniny. Nastane-li tento lom, zpravidla se mění celá kolejnice, pokud se tak neučiní, je potřeba kontrola zbývajících částí kolejnice dle předpisu ČD S 3/4.



*Obr. 1.8 Lom iniciovaný výrobními vadami [8]*

**Lom vzniklý z mechanického poškození nebo opotřebení** (Obr. 1.9) je způsoben zejména opotřebením za provozu a zatěžováním vozidly, které mají za následek zvýšení napětí materiálu a vlivem toho dochází k vzniku trhlin, které mohou v krajním případě vést až k lomu. V případě lomu se vizuálně kontroluje celá kolejnice s lomem.



*Obr. 1.9 Lom vzniklý z mechanického poškození nebo opotřebení [8]*

**Lom v místě návaru nebo přivaření propojky** (ukolejnění) (Obr. 1.10) je způsoben vyhřátím v daném místě. Svou roli hrají také změny struktury materiálu kolejnice (srdcovky, jazyka) v oblastech, kde dochází k návaru, případně přivaření propojky. Dále může dojít ke vzniku plynových dutin, zavaření strusky nebo studeného spoje díky špatné technologii navařování. Vyjmenované vlivy způsobují trhliny, jejichž vlivem může dojít k lomu.



*Obr. 1.10 Lom v místě návaru nebo přivaření propojky (ukolejnění) [8]*

**Lom v oblasti AT svaru** (Obr. 1.11) je nejčastěji způsoben nesprávnou technologií svařování, jehož následkem mohou vznikat trhliny, studené spoje, dutiny apod. Vlivem vrubového účinku zmíněných vad může vést k vytvoření trhlin a v konečném stádiu až k lomu.



*Obr. 1.11 Lom v oblasti AT svaru [8]*

**Lom iniciovaný kontaktně únavovými vadami** (Obr. 1.12) je způsoben vozidly, která zatěžují kolejnici. Zdroj únavových vad je ve styku kolo – kolejnice. Vady tohoto typu se projevují i na kolejnicích, kde není tak velký provoz. Nachází se zpravidla na vnějším kolejnicovém pásu oblouku. Pokud se vady objeví, je nutnost provést vizuální kontrolu a většinou dochází k výměně celé kolejnice.



*Obr. 1.12 Lom iniciovaný kontaktně únavovými vadami [8]*

**Lom v oblasti svaru zhotoveného ručně elektrickým obloukem** (Obr. 1.13) je výhradně iniciován nevhodnou technologií svařování, což má za následek vznik dutin, pórů a strusky.



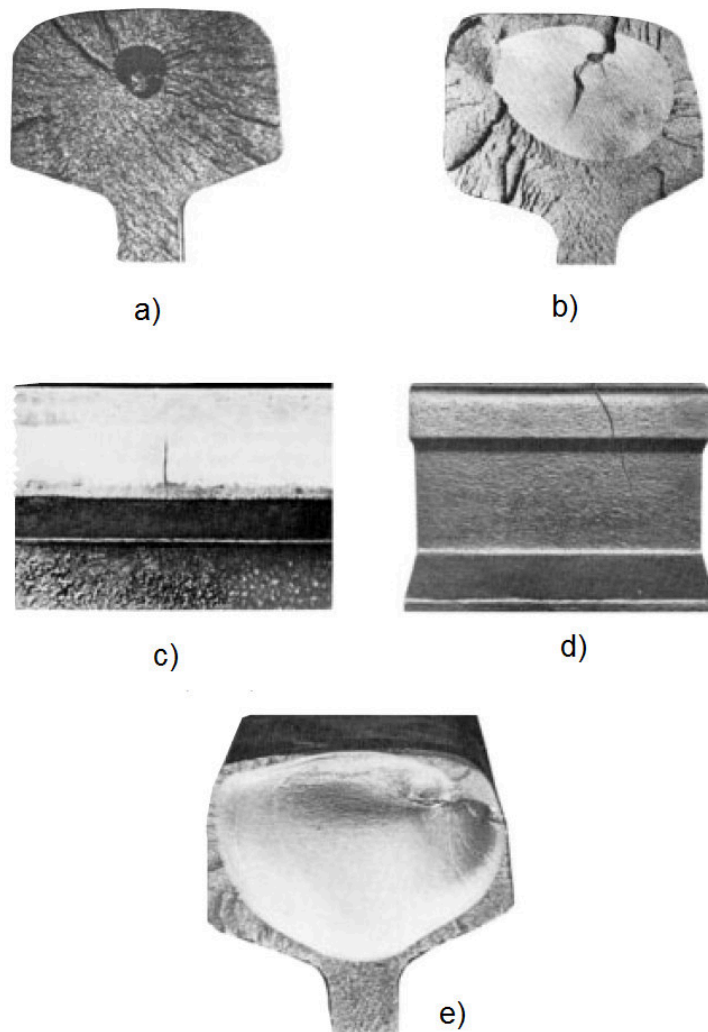
*Obr. 1.13 Lom v oblasti svaru zhotoveného ručně elektrickým obloukem [8]*

### **1.2.3 Vady kolejnic**

Nespecifikované skryté vady kolejnic jsou vady, které vznikají při výrobě daných kolejnic. Při NDT kontrolách, za pomoci ultrazvuku, dojde ke vzrůstu útlumu, který je způsoben segregacemi, nekovovými vměstkami, zavalcovanými dutinami a vycezeninami.

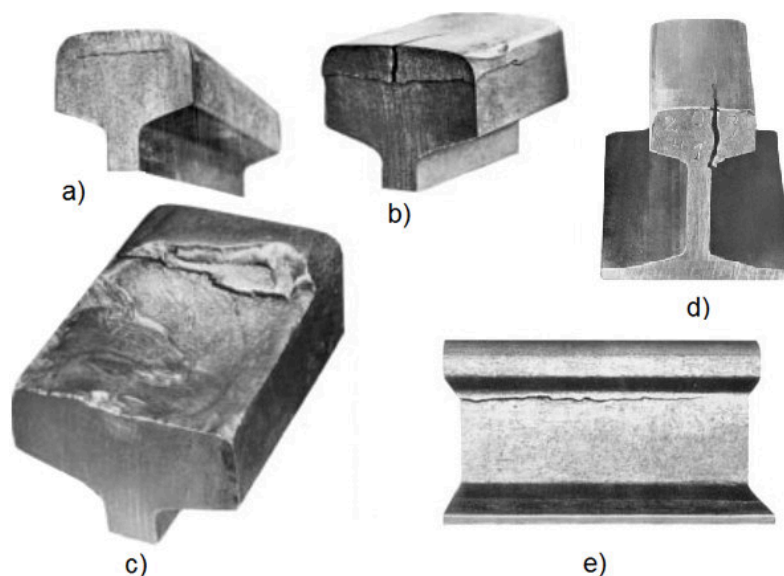
Další vadou jsou **příčné trhliny v hlavě kolejnice** (Obr. 1.14), které jsou způsobeny výskytem příčných vloček. Vločky (drobné husté trhlinky, které vznikají během výroby) mají tendenci se rozšiřovat v trhliny vlivem dynamického působení vozidel (Obr. 1.14 a, b). Pokud lze vadu vidět (Obr. 1.14 d), jedná se o lomovou plochu, která je zpravidla zkorodovaná. K tvorbě příčných trhlin dochází vlivem rozvoje vad typu shelling.





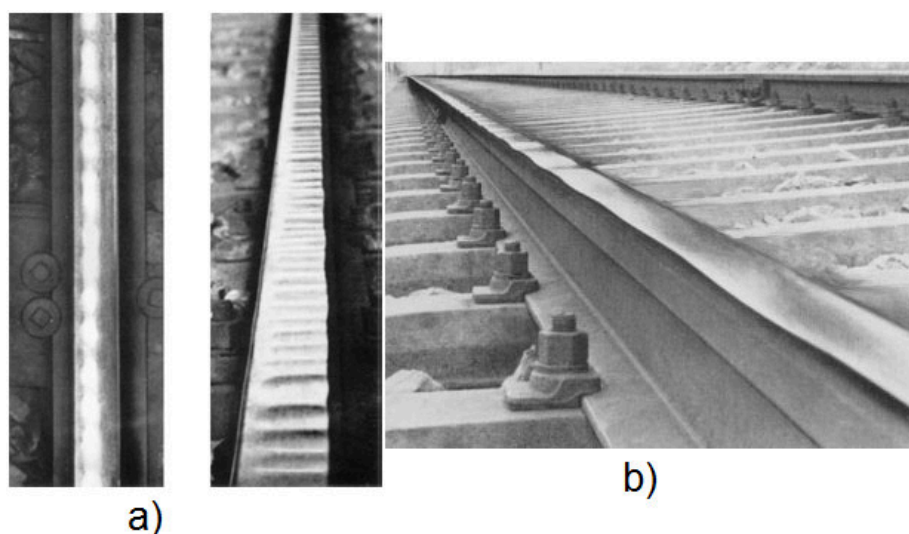
*Obr. 1.14 Příčné trhliny v hlavě kolejnice: a), b) – příčné únavové trhliny; c) – únavová trhlina na povrchu hlavy kolejnice; d) – viditelná vada; e) – postupné šíření trhliny [8]*

**Vodorovné a svislé trhliny v hlavě kolejnice** (Obr. 1.15). Dutiny, které jsou z výroby již zaválcované, dále ostře ohraničené segregace a nekovové vměstky způsobené vozidly resp. jejich dynamickými účinky vedou k vodorovnému rozštěpení hlavy kolejnice (Obr. 1.15 a). Velmi častým jevem jsou i svislé trhliny (Obr. 1.15 b). Ojediněle může dojít i k oddělení úlomku základního materiálu, jedná se spíše o pokročilý stav (Obr. 1.15 c). Oddělení materiálu je označováno za lom tehdy, když dojde k výlomu části hlavy kolejnice, která je hlubší než 10 mm a delší než 50 mm. Dojde-li k lomu kolejnice způsobené následkem složené trhliny, vykazuje lomová plocha začernalé zabarvení povrchu. Ostatní plochy lomu se vyznačují světlejším zbarvením a zrnitým povrchem.



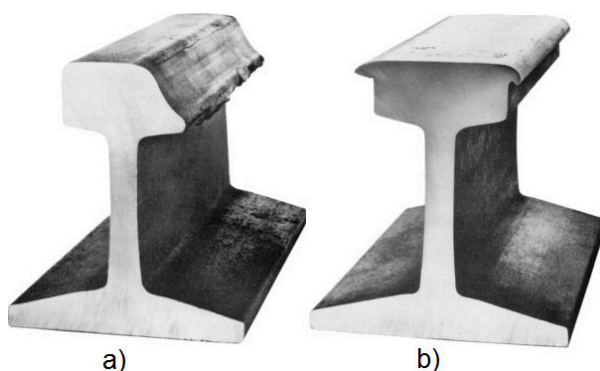
*Obr. 1.15 Vodorovné trhliny v hlavě kolejnice: a) – vodorovné rozštěpení hlavy kolejnice; b) – svislé trhliny; c) – oddělení úlomku základního materiálu; d) – svislá trhlina; e) – trhlina na zaoblení mezi stojinou a hlavou kolejnic [8]*

**Vlnkovitost kolejnice, skluzové vlny** (Obr. 1.16 a) a **vlnovitá deformace hlavy kolejnice** (Obr. 1.16 b) je souhrn příčin jako např. hrubý povrch, konstrukce svršku, charakter provozu atd. Vlnky jsou rovnoměrné s lesklými vrcholky a tmavými prohlubněmi. Jejich délka se pohybuje okolo 3 až 10 cm. Skluzové vlny jsou zapříčiněny prokluzem kol a mají délku okolo 10 až 30 cm. Opatření proti těmto defektům kolejnice je jejich obroušení.



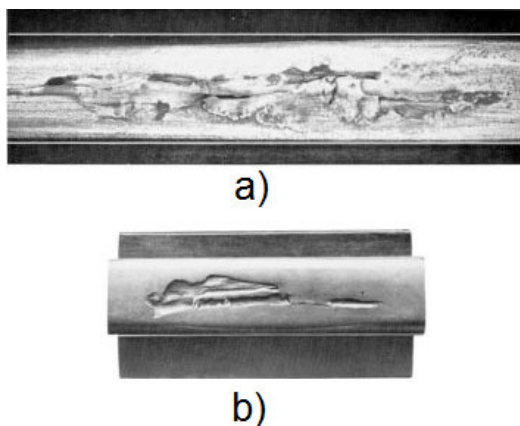
*Obr. 1.16 a) – Vlnkovitost kolejnice a skluzové vlny; b) – vlnovitá deformace hlavy kolejnice [8]*

**Boční opotřebení hlavy kolejnice a mimořádné svislé opotřebení** (Obr. 1.17). Boční opotřebení, nebo tzv. ojetí, se vyskytuje na vnějších kolejnicových pásech v obloucích. Důvodem je zátěž vyvolaná kolejovými vozidly. Boční ojetí se odvíjí od jakosti mazání samotných kolejnic. Boční opotřebení je velmi nebezpečné a může dojít k vykolejení vozidel, zvětšení rozchodu a oslabení profilu, které může v krajním případě vést k lomu. Svislé opotřebení je způsobeno rovněž vozidly, která zatěžují kolejnice a vlivem vzrůstajícího provozního zatížení.



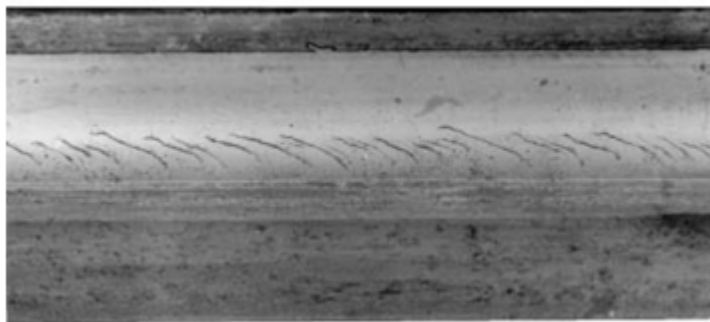
*Obr. 1.17 a) – boční opotřebení hlavy kolejnice; b) – mimořádné svislé opotřebení [8]*

**Odlupování a vydrolování kovu na pojížděné ploše kolejnice** (Obr. 1.18) jsou způsobeny při výrobě, kdy dochází ke zrodu vlasových trhlin, převalků a plen. Zde hrají opět velkou roli kolejové vozy, díky kterým dochází k dynamickým účinkům, které tyto vady rozšiřují a dochází k vydrolení nebo odlupování tenké vrstvy kovu kolejnice na její pojížděné ploše. Vyskytující se vady – miskovité výlomky, rýhy a podélné trhliny. Při nálezů tohoto typu vady je důležitá hloubka, která musí být více jak 3 mm hluboká, aby se nález uvedl jako vada. Miskovité výlomky se opravují navařováním.



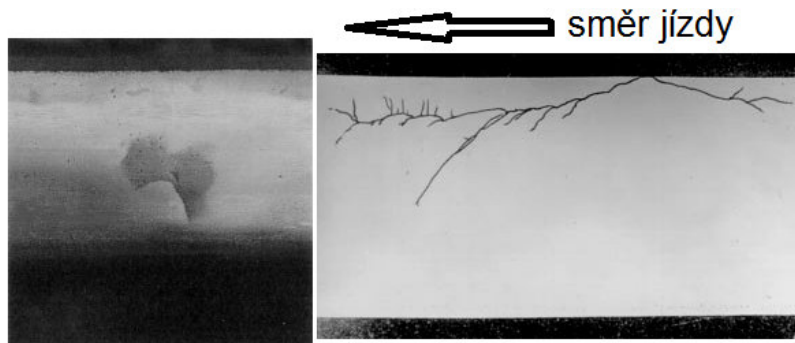
*Obr. 1.18 Odlupování a vydrolování kovu na pojížděné ploše kolejnice [8]*

Za **šikmé trhliny pojížděné hrany (head checking)**, viz Obr. 1.19, může vysoký kontaktní tlak na styku kolo – kolejnice. Head checking lze bezpečně rozpoznat díky velkému množství trhlinek ve vzdálenosti 1 až 5 mm od sebe. Později může dojít k vylamování materiálu mezi trhlínkami.



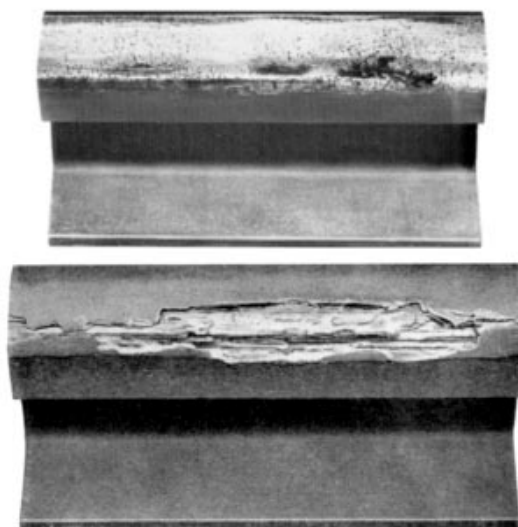
*Obr. 1.19 Head Checking [8]*

**Šikmé trhliny pojížděné plochy (squats)** vznikají především na tratích, kde se rychlost pojížděných vozů pohybuje okolo 160 Km/h a více. Jedná se o únavovou vadu projevující se náhodným rozmístěním trhlinek o délce 12 až 15 mm pod úhlem 45° ve směru jízdy.



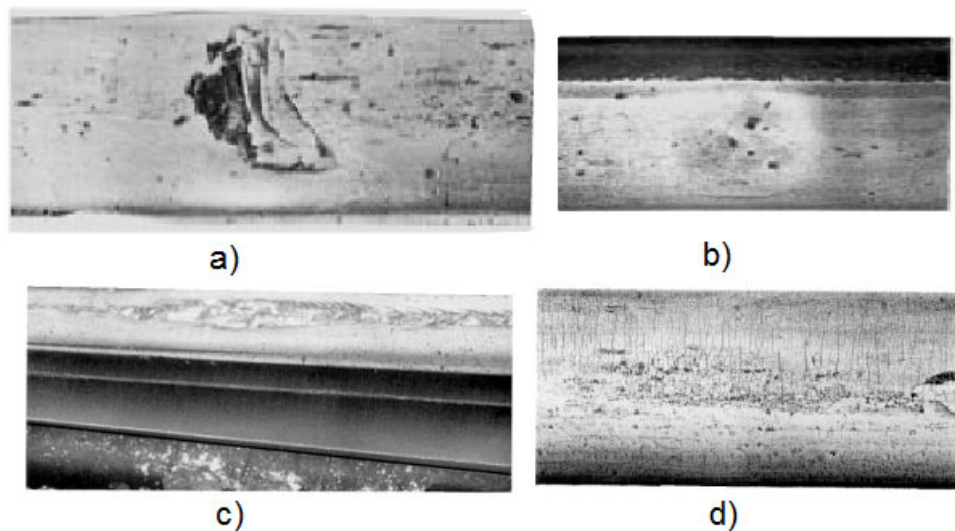
*Obr. 1.20 Squats [8]*

**Odlupování materiálu z pojížděné hrany (Shelling)** vzniká především v obloucích a jedná se o trhliny pod povrchem hrany kolejnice, to vše vlivem kontaktních a skluzových sil. Na kolejnici je možno vidět tmavé podélné skvrny vyskytující se na zaoblení hlavy kolejnice, což poukazuje na výskyt vnitřních trhlin. Ty se po čase projeví jako prasklinky a nakonec oddělením materiálu. Vlivem tečení materiálu vznikajícím od projíždění vlaků dochází k zahloubení plochy. Odlupování se vyskytuje většinou ve vnějších kolejnicových pásech oblouků. Jako opatření se zde provádí vizuální kontrola nebo ultrazvuk.



*Obr. 1.21 Shelling [8]*

Místa na pojížděné ploše vybroušená jednorázovým prokluzem hnací nápravy ("žáby") a opakovanými prokluzy. K poškození kolejnice jednorázovým prokluzem dochází prokluzováním hnací nápravy, kde vytváří místní odlupování (Obr. 1.22 a), nebo vznikají vnitřní trhliny (Obr. 1.22 b), které mohou vést až k únavovému lomu. Opakované prokluzy se vyskytují v částech, kde dochází k opakovaným rozjezdům a brzdění nebo tam, kde dochází k častému prokluzu hnacího vozidla (Obr. 1.22 c). Nebezpečný je výskyt vlasových trhlin označovaných jako "síťové trhliny" (Obr. 1.22 d). Obvykle se tyto vady vyskytují před návěstidly.



*Obr. 1.22 Vybroušení prokluzem: a) – odlupování; b) – vnitřní trhliny; c) – úsek vybroušený opakovanými prokluzy; d) – "síťové trhliny" [8]*

### 1.3 NDT kolejnic

Pro tvorbu této podkapitoly byla využita literatura [9].

Jak již bylo zmíněno, hlavním významem NDT kolejnic je zajistit bezpečnost a spolehlivost provozu na tratích. Řídí se předpisem českých drah ČD S 3/4 Nedestruktivní zkoušení kolejnic s účinností od 1.2.1997. Ten stanovuje zásady NDT zkoušení kolejnic, srdcovek a jazyků výhybek, jejich svarů a návarů. Zároveň stanovuje organizační a technické podmínky zkoušek, způsob provádění a vyhodnocení. Tento předpis je pro pravidelné provozní zkoušení kolejnic, srdcovek a jazyků výhybek metodou ultrazvukovou (UT) a vizuální (VT), jejich svarů a návarů, pro zkoušení AT svarů metodou prozařovací. Jak je patrné z výše uvedeného, tak se v provozních zkouškách využívá především metoda UT a VT. V dnešní době se pro provozní zkoušení rozšiřuje metoda vířivých proudů (ET), která však v tomto předpisu není zahrnuta. Nedestruktivní zkoušení je rozděleno na:

- základní kontroly – defektoskopické skupiny, které jsou vybaveny jednoúčelovými kolejnicovými defektoskopy,
- podrobné kontroly – pracovníci nebo defektoskopické skupiny vybavené univerzálními ultrazvukovými defektoskopy, nebo zařízením pro prozařovací metodu (případně pracovištěm).

Součástí základní kontroly je i vizuální prohlídka všech svarů a návarů. Pracovníci provádějící kontroly musí mít patřičné znalosti v daném odvětví a přístroje pro provádění NDT kontrol musí být schváleny a odpovídat požadavkům.

Základní a podrobná kontrola kolejnic a srdcovek musí být provedena:

- před svařením kolejnic,
- před rekonstrukcí železničního svršku nebo obnovou kolejnic,
- na nových tratích a po výměně vadných kolejnic,
- u srdcovek před nebo po rekonstrukci výhybek.

Základní a podrobná kontrola jazyků výhybek musí být provedena:

- před a po rekonstrukci výhybek a výměně jazyků.



Rychlostní skupina	Hlavní a dopravní koleje poježděné rychlosti (km/h)	Četnost základních kontrol	
		Časový interval mezi kontrolami	
		Kolejnice a srdcovky	Jazyky výhybek
1.	Manipulační koleje a koleje pro zvláštní účely	Podle uvážení SDC	Podle uvážení SDC
2.	$V \leq 60$	1x za 4 roky ----- 47 měsíců	1x za 2 roky ----- 23 měsíců
3.	$60 < V \leq 80$	1x ročně ----- 11 měsíců	1x ročně ----- 11 měsíců
4.	$80 < V \leq 140$	2x ročně ----- 5 měsíců	3x ročně ----- 3 měsíce
5.	$V > 140$	3x ročně ----- 3 měsíce	4x ročně ----- 2 měsíce

Tab. 1.2 Četnost základních NDT kontrol na kolejnicích [9]

### 1.3.1 Základní dělení a klasifikace vad

Vady kolejnic, srdcovek a jazyků výhybek se dělí na:

- zjevné – vady zjistitelné vizuální prohlídkou,
- skryté – indikované defektoskopickými přístroji (při vizuální prohlídce místa indikace nejsou patrné žádné zjevné vady).

Skryté vady kolejnic, srdcovek a jazyků výhybek se dle rozsahu indikací jednoúčelového defektoskopu dělí na tři typy:

- bodové (BV) – délka indikace do 6 cm,
- souvislé (SV) – indikace delší než 6 cm, která se projevuje v celém rozsahu vady,
- přerušované (PV) – indikace delší než 6 cm, která se projevuje přerušovaně v celém rozsahu vady.

Vady kolejnic, srdcovek a jazyků výhybek jsou popsány v kap. 1.2.3.

## 2 POUŽÍVANÉ METODY NDT NA KOLEJNICÍCH

Pro tvorbu této kapitoly byla využita literatura [1], [2], [3], [6], [7], [11], [19], [20].

Nedestruktivní defektoskopie je diagnostická metoda, která tvoří nedílnou část kontroly jakosti výrobku jak v předvýrobní a výrobní etapě, tak v provozu. Díky defektoskopii je zajištěna bezporuchovost, spolehlivost a bezpečnost v mnoha odvětvích jako je letectví, jaderná energetika, chemický a dopravní průmysl, ale i při kontrole mostů, lanovek, lodních šroubů a dalších. NDT se zabývá testováním struktury kovových i nekovových materiálů a vnitřních nebo povrchových vad, to vše bez porušení celistvosti.

Vady materiálu jsou především nesprávným chemickým složením, odchylkami od požadovaných mechanických a fyzikálních vlastností. Dále necelistvosti, do kterých řadíme trhliny a praskliny, také dutiny, které se projevují jako bubliny, póry, staženiny, řediny, lunkry. Poté to jsou vměstky, rozlišujeme vměstky kovové a nekovové, které se projevují struskovitostí. Je potřeba nezapomenout na tvarové vady, korozi, opotřebení a jiné.

Kontroly metodami NDT mohou být prováděny ručně, je ale potřeba mít dostatečné teoretické znalosti a praktickou zkušenost, nebo plně automatizovaně. U automatizované kontroly lze testovat vybrané výrobní vzorky a provádět 100% výrobní kontrolu za pomoci defektoskopických systémů. Nedestruktivní diagnostika je používána po mnoho let pro kontrolu železničních tratí. Existuje celá řada používaných metod NDT. V současné době se používají pro měření kolejnic čtyři NDT metody.

### 2.1 Vizualní kontrola (VT)

Jedná se o jednu z nejstarších metod technické diagnostiky. Vizualní kontrola se řadí mezi nejjednodušší a nejpoužívanější z metod NDT. Její časová náročnost a hlavně nízká cena ji řadí na první místa dostupnosti defektoskopie. Je základem pro nalezení povrchových vad a necelistvostí lidským zrakem, které využívají viditelné spektrum elektromagnetického záření. Nevýhodou této kontroly je velikost vad, které lze odhalit. Minimální hloubka detekované trhliny se pohybuje v řádech desetin milimetrů s šířkou řádově setin milimetrů a délkou v desetinách milimetrů. Vizualní kontrola se dělí dle svého provádění na přímou (není přerušena optická dráha světla) a nepřímou, která se provádí za pomoci speciálních přístrojů a zařízení k tomu určených. Hledají se vady jako trhliny,

zápaly, povrchové póry. Zjišťují se tvarové odchylky, kde se zjišťuje a vyhodnocuje lineární přesazení, převýšení kořene svaru, přesazení forem u odlitků a kontroluje se stav povrchu. Tato metoda se může považovat za plnohodnotnou, ve srovnání s ostatními metodami jako např. kapilární defektoskopie.

Principem VT metody je mít vhodně připravený povrch kontrolované součásti. Jedná se především o to, aby byl povrch zbaven nečistot, byl řádně odmaštěn a vysušen. Přípravy výrazně ovlivňují výsledek zkoušky a je na ní kladem velký důraz. Díky správně připravenému povrchu lze identifikovat vady vyskytující se na součásti.

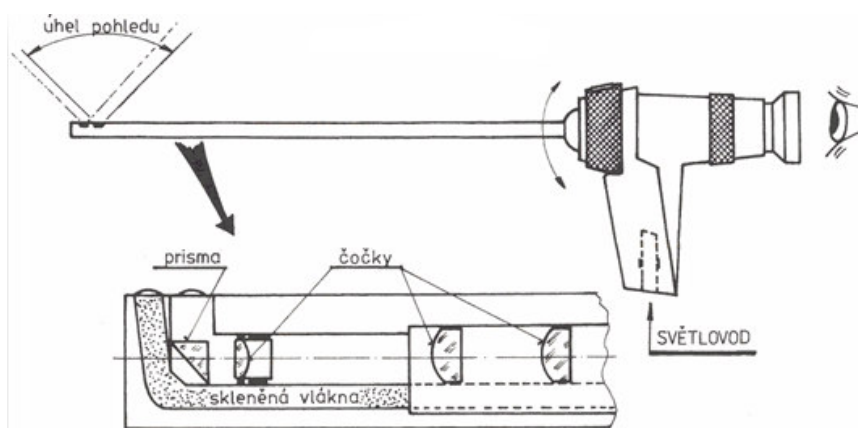
Tato metoda závisí na splnění třech základních podmínek:

- zraková způsobilost pracovníka provádějícího zkoušky,
- podmínka dostatečného osvětlení zkoušeného povrchu,
- odborná způsobilost – znalosti a praktické dovednosti pracovníka provádějícího VT zkoušky.

Samotná kontrola se provádí buďto přímo zrakem, bez pomocných nástrojů, ke kterým patří i všeobecná kontrola (provádí se především pro přípravu objektu k použití dalších NDT metod) prováděná ze vzdálenosti alespoň 600 mm při minimální intenzitě osvětlení 160 luxů. Pro vzdálenosti menší než 600 mm se hovoří o kontrole místní, která umožňuje získání lepších poznatků o stavu povrchu s využitím základních pomůcek, jako jsou zrcadla, měrky, měřidla, lupy, atd. Pro vytvoření dobrých podmínek pozorování se udává úhel dopadu světla vzhledem k normále mezi  $45^\circ$  a  $85^\circ$  a pozorovací úhel alespoň  $30^\circ$  k pozorovanému povrchu. Kontrola se provádí za přirozeného nebo umělého osvětlení, případně pomocí ultrafialového záření. Kontroly velmi těžce dostupných míst, jsou prováděny za pomoci moderní techniky, což jsou endoskopy a další speciální zařízení. V dnešní době je již u většiny vizuálních kontrol požadováno použití technických endoskopů, které jsou v provedení s pevnou trubicí a nazývají se boroskopy, dále s ohebnou hadicí, které se nazývají fibroskopy a často využívané videoskopy, kterými lze pořídit videozáznam a přenos obrazu se koná elektronickou cestou, namísto optické. Endoskopy jsou zařízení, která se využívají pro vizuální kontrolu těžce dostupných míst a díky tomu, že jsou opatřeny snímací kamerou a monitorem, lze sledovat kontrolovaná místa prostřednictvím obrazu na monitoru. Pracovník si na endoskopu může opticky zvětšit, či zmenšit obraz, umožňuje vyfotografovat a ukládat kritická místa, která

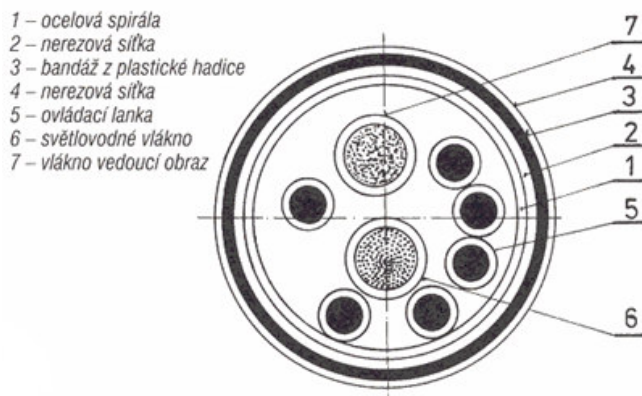
se naleznou. Zdroje osvětlení se používají zejména halové, xenonové a halogenidové. Endoskopy se především využívají v letectví pro provozní inspekci, v energetice pro kontrolu zásobníků, výměníků a potrubí, ale i při výrobě např. svařovaných rámců, uzavřených profilů apod.

Boroskopy jsou pevné endoskopy, které přenášejí obraz z nepřístupných míst prostřednictvím vnitřního optického systému tvořeného klasickými čočkami. Používají se především pro takové aplikace, které se vyznačují možností přímého přístupu (tj. bez překážek a ohybů). Mají různé druhy optických systému (zorných úhlů), a to s přímým, bočním, šikmým, nebo zpětným směrem pohledu. K boroskopům lze připojit příslušenství pro možnost dokumentace nebo pro lepší zobrazení na TV monitoru. Jedná se o klasické fotoaparáty, snímací CCD kamery a v poslední době především o digitální fotoaparáty, které umožňují zobrazení na TV monitoru a navíc velmi snadnou archivaci nebo dodatečné zpracování na počítači.



*Obr. 2.1 Schéma boroskopu [6]*

Jsou ale místa, kde se s boroskopem nelze dostat (překážky a ohyby), proto se využívají fibroskopy, které se řadí mezi ohebné endoskopy, díky použití ohebné hadice. Fibroskopy mají dálkově ovladatelné vychylování inspekčního konce sondy s možností aretace zvolené polohy a systém výměnných koncových objektivů. Tím je v praxi maximalizována velikost prostoru, který lze takovým fibroskopem prohlédnout.



*Obr. 2.2 Konstrukce ohebné části fibroskopu [6]*

Tato forma kontroly je široce využívána na kolejnicích, ale výsledky odhalení vad, oproti všem ostatním používaným metodám, nejsou tak vysoké. Dnes je velmi problematické odhalit povrchové trhliny, které často nemohou být viděny pouhým okem.

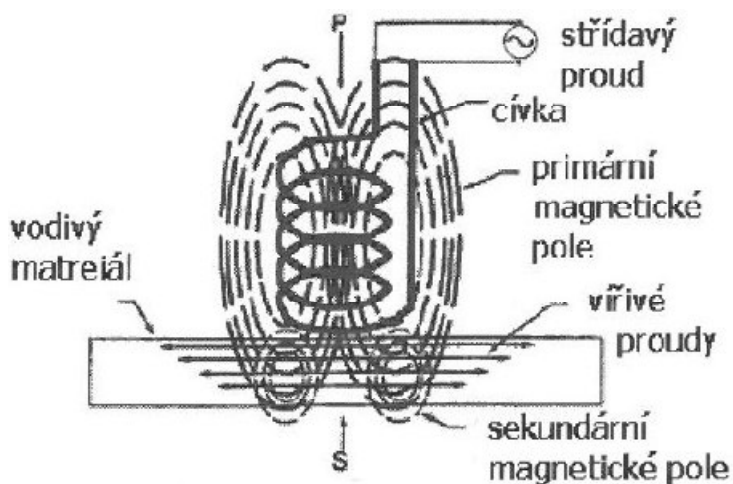
## **2.2 Vířivé proudy (ET)**

Pro tvorbu této podkapitoly byla kromě výše uvedené využita literatura [15], [18].

NDT metoda vířivých proudů se řadí mezi tzv. povrchové metody a také se řadí mezi nejpoužívanější metody elektromagnetického zkoušení elektricky vodivých materiálů. ET slouží k nalezení velmi jemných povrchových trhlin, různých korozních napadení, mechanických deformací, záměny materiálu a těsných podpovrchových vad. ET jsou schopny měřit tloušťky např. trubek o malých tloušťkách stěny. Díky této schopnosti lze odhalit výše zmíněnou korozi, kde dochází k úbytku materiálu a tedy změně tloušťky. Metodou ET lze změřit i tloušťku nátěrů a dalších povlaků. ET mohou ovlivnit elektrická vodivost a magnetická permeabilita materiálu, díky čemuž lze rozeznat změnu vodivosti materiálu, který byl ovlivněn vysokou teplotou, případně byl tepelně zpracován.

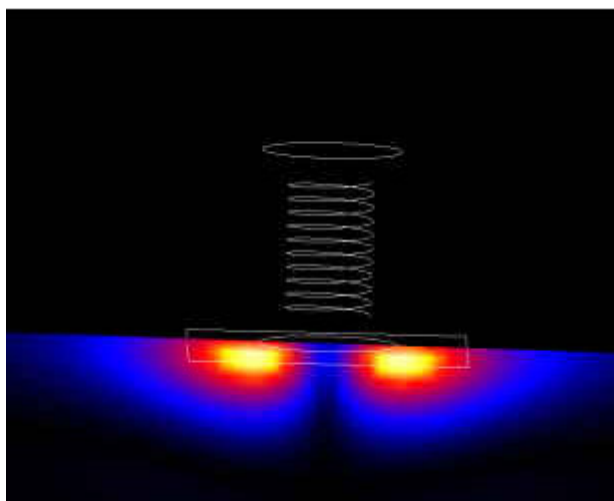
Principiálně se jedná o cívku, která je buzená střídavým proudem. Průchodem střídavého proudu cívkou vzniká kolem cívky střídavé magnetické pole. To ve zkoušeném materiálu vyvolá tok tzv. vířivých proudů, které svým tvarem připomínají vodní vír. Vířivé proudy poté vyvolají své magnetické pole, které ovlivňuje původní budící magnetické pole. Výsledné magnetické pole, které je vektorově složené z budícího magnetického pole a z magnetického pole vyvolané vířivými proudy, indukuje napětí v měřicím vinutí snímače. Pokud dojde ke změně vlastnosti zkoušeného předmětu (změna materiálu, výskyt

vady, trhliny apod. – změna elektrické vodivosti) nebo vzdálenosti snímače od zkoušeného povrchu (používáno pro měření tloušťky nevodivého materiálu např. barvy), změní se velikost napětí v měřicím systému. Jedná se tedy o změnu impedance cívky, kterou způsobuje magnetická permeabilita a deformace toku vířivých proudů.



*Obr. 2.3 Princip metody vířivých proudů [3]*

Síla vířivých proudů se s narůstající vzdáleností od cívky snižuje. Důvod je ten, že se vířivé proudy soustředí v blízkosti povrchu. Zároveň se také snižuje hustota vířivých proudů exponenciálně s hloubkou, což znamená, že nelze zjišťovat vady ve větší hloubce. Velikost vířivých proudů a tedy i hloubka, do které vířivé proudy proniknou, závisí na druhu a tvaru materiálu, frekvenci budicího proudu. S rostoucí frekvencí se hloubka proniknutí snižuje. Tento úkaz je znám jako tzv. povrchový jev.

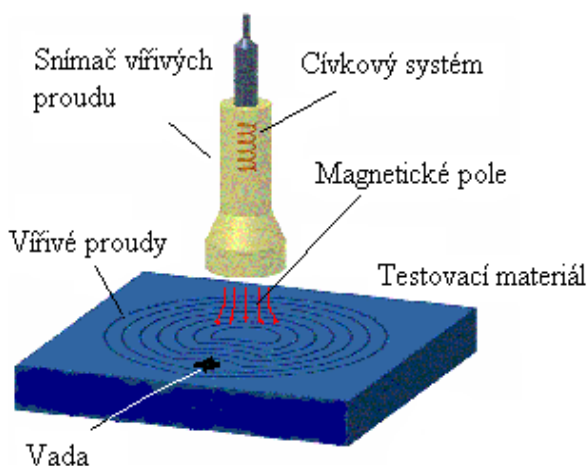


*Obr. 2.4 Povrchový jev [15]*



Problém u použití ET nastává u krajů kontrolovaných těles, kde je koncentrace magnetického pole u hrany tělesa větší a nazývá se okrajový jev.

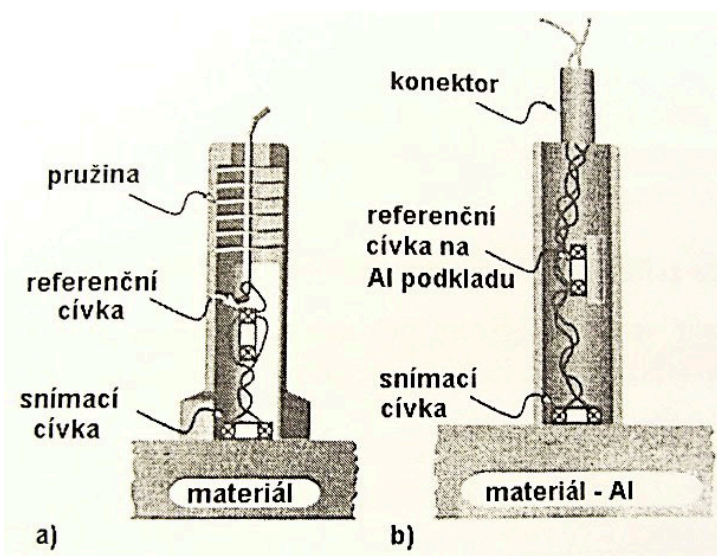
Snímače (sondy) pro měření vířivými proudy mají dva důležité úkoly, jedním z nich je indukovat vířivé proudy a druhým úkolem je snímat deformace jejich toku, při indikaci vady. Snímače se dělí dle uspořádání cívek a existuje tedy metoda s průchozí cívkou a metoda s příložnou cívkou. Metoda s průchozí cívkou má hlavní oblast aplikace zkoušení tyčových materiálu (tyče, trubky, dráty). Snímač je složen z diferenční cívky uspořádané za sebou a vyznačuje se vysokou zkušební rychlostí a možností zkoušení za vysokých teplot pomocí speciálních chlazených snímačů. U metody s průchozí cívkou se nejlépe zjišťují vady krátké, které nezasahují do obou cívek a mohou nahrazovat zkoušku vnitřním přetlakem, protože se dají indikovat drobné díry přes celou tloušťku stěny. Při indikaci dlouhých vad (převážně na koncích) nastává problém tehdy, když vada zasáhne do obou diferenciálních cívek, signál se částečně vyruší a indikace není tak spolehlivá. Popisovaná metoda se pro provozní zkoušení kolejnic však nepoužívá. Metoda s příložnou cívkou se využívá především pro zkoušení materiálu, kde se zjistitelnost vady uvnitř materiálu pohybuje okolo 4,5 mm. Oblast působení snímačů je dosti omezená, zpravidla působí srovnatelně k rozměrům cívkového snímače.



Obr. 2.5 Vířivé proudy

*Zdroj: Podstawka, M. Pracoviště údržby letadlových podvozkových kol pro údržbovou organizaci (BP). Ostrava: VŠB – TUO, 2012, 63 s.*

Snímače se z konstrukčního hlediska dělí na absolutní a již zmíněné diferenční. Absolutní snímače využívají pouze jedno vinutí, mohou obsahovat pouze jednu cívku, jež plní funkci cívky napájecí i měřicí, tím se stávají jednoduššími, ale oproti snímačům diferenčním, které obsahují dvě cívky, jsou méně přesné. Dále dělíme snímače na vzduchové, které se přiloží přímo na zkoušený materiál, nebo jsou to snímače s podkladem, kde podklad je ze stejného materiálu, jako je materiál zkoušený. Vstupní signál je především sinusoidálního typu s frekvenčními generátory. Ty jsou buď jedno, nebo vícefrekvenční. I když se využívá zejména sinusoidální typ vstupního signálu, existuje ještě impulzní typ, který se však využívá oproti sinusoidnímu v menší míře.

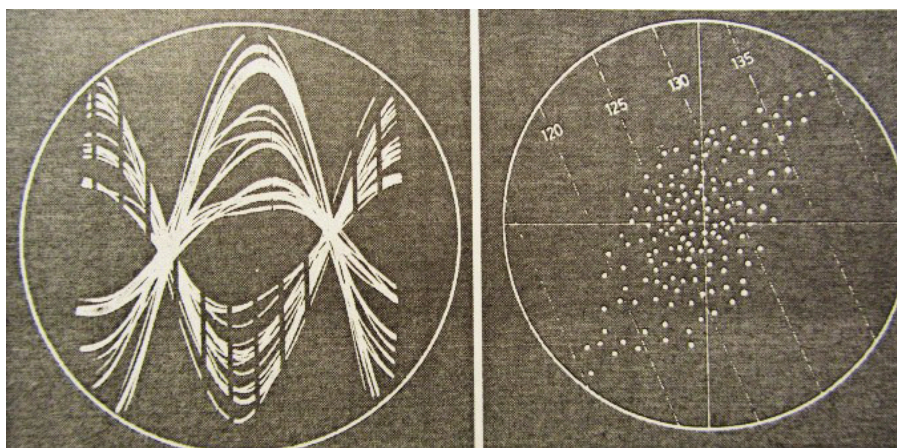


Obr. 2.6 Příložné diferenční snímače: a) – vzduchový; b) – s hliníkovým podkladem [1]

U použití metody ET je velmi důležitá volba budící frekvence, která ovlivňuje zjistitelnost vad a zajišťuje správný odstup signálu vzniklého z necelistvosti od šumu. Je potřeba přihlížet k vlastnostem zkoušených materiálů a velikosti součástí, kterou je volba ve značné míře ovlivněna. Frekvence budícího obvodu se zpravidla pohybuje od 3 Hz až do 120 MHz. Frekvence, které se využívají nejvíce, se pohybují v rozmezí 1 kHz až 5 MHz. Rozsah frekvencí je omezen i konstrukcí snímače. Pro zobrazení měřených veličin se využívají dva způsoby:

- časově lineární zobrazení (rychlé nebo pomalé),
- bodové (vektorové) zobrazení.

Při časově lineárním zobrazení dochází k vychylování paprsku ve vodorovném směru zleva doprava konstantní rychlostí, ve svislém směru je poté vychylován měřeným napětím. Rozlišuje se rychlé a pomalé zobrazení, kdy u rychlého zobrazení se volí rychlost vychylování tak, aby byl zobrazen jeden kmit měřeného napětí, a u pomalého zobrazení se rychlost vychylování volí tak, aby posuv paprsku odpovídal délce zkoušené součásti, v závislosti na šířce obrazovky přístroje. Při vektorovém zobrazení se napětí zobrazuje jako vektor, který má počátek ve středu obrazovky a konec ve formě světelného bodu. Vzdálenost mezi středem a koncovým bodem odpovídá amplitudě napětí.



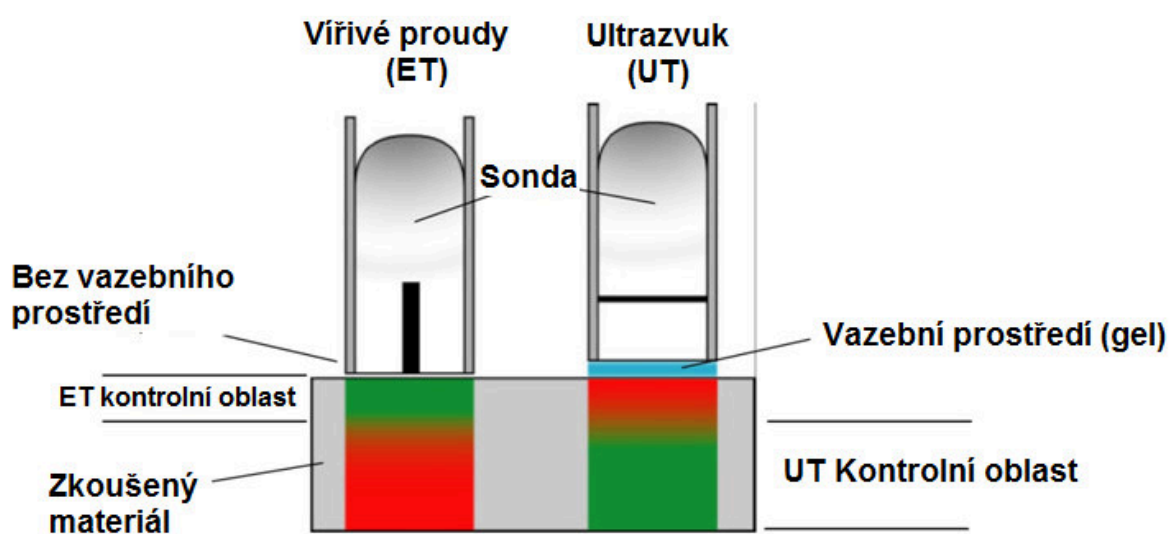
*Obr. 2.7 Časově lineární (vlevo) a vektorové (vpravo) zobrazení [1]*

Projev vady na obrazovce přístroje se odvíjí od zvolené frekvence, materiálu, typu použité sondy a geometrických parametrů zkoušené součásti. Je třeba pamatovat, že výše zmíněné parametry se na obrazovce projeví spolu se samotnou necelistvostí. Hloubka trhliny se určuje za pomoci fázového posunu. Je-li vyžadován přesnější odhad parametrů vady, použijí se měrky, které jsou vyrobeny ze stejného materiálu jako materiál zkoušený a s přesným popisem umělých vad.



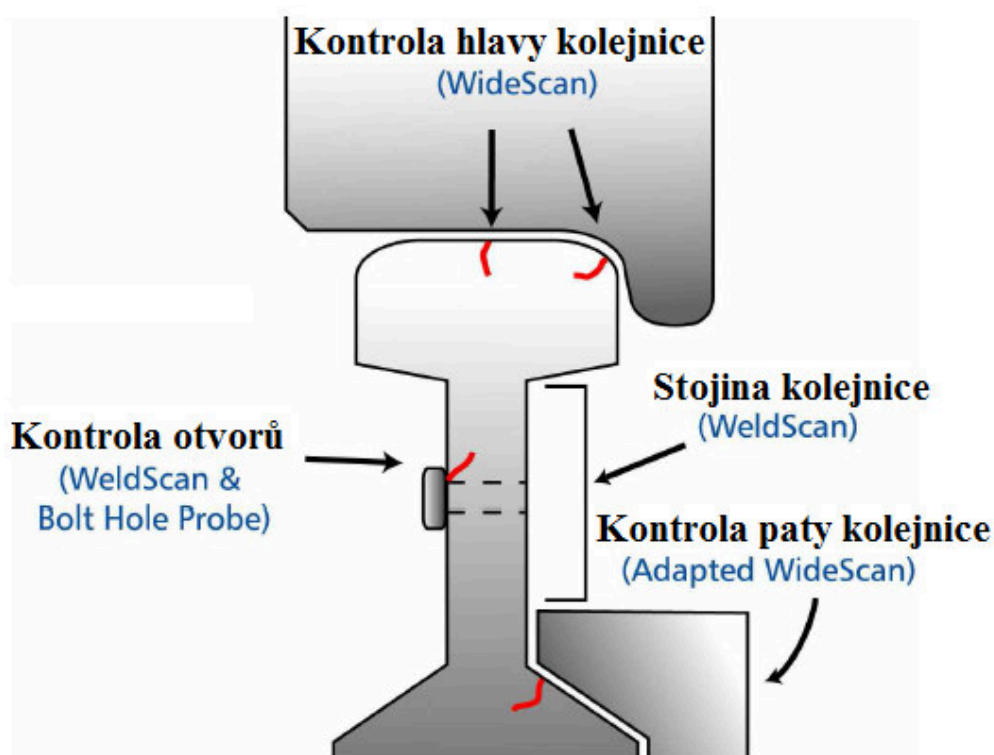
Obr. 2.8 Zkouška vířivými proudy na zkušebním vzorku [6]

Vířivé proudy se využívají co možná nejefektivněji pro kontrolu povrchových a podpovrchových trhlin kolejnic. Na Obr. 2.9 je vidět rozdíl odlišného pokrytí kontrolní oblasti použitím metody vířivých proudů a ultrazvuku. Je důležité zdůraznit, že metody ET a UT jsou pomocné kontrolní metody a neměla by být používána výhradně jedna metoda, ale kombinace metod. Tím se zajistí větší přesnost kontroly.



Obr. 2.9 Odlišné kontrolní oblasti ET a UT metod [18]

V dnešní době se využívá na měření kolejnic pomocí ET metody sonda zvaná WideScan. Sonda je určena pro kontrolu hlavy kolejnice a je tvarovaná k povrchu kolejnice. Pohybuje se podél povrchu, kde dochází k víření proudů. Sonda je propojená kabelem s přístrojem, kde dochází k vyhodnocení naměřených výsledků. Přístroj je schopný ukládat naměřené informace, které mohou být staženy do počítače pro budoucí analýzu a záznam. Na Obr. 2.11 lze vidět manuální použití sondy WideScan na kolejnici. Zařízení však může být připojeno ke kontrolnímu vozíku (Obr. 2.12), nebo umístěno na voze jezdícím po trati. Sonda WideScan je unikátní i díky ploše, kterou je schopná pokrýt. To znamená, že se mohou nalézt vady po celé ploše hlavy kolejnice během jedné kontroly. Dále existuje sonda zvaná WeldScan, která je vhodná na měření po stranách a zejména pak pro kontrolu svarů. Na Obr. 2.10 lze vidět kontrolované části kolejnice pomocí metody vířivých proudů a zároveň použití sond určených pro kontrolu kolejnic.



Obr. 2.10 Kontrola kolejnice pomocí různých sond určených k použití na kolejnicích [18]





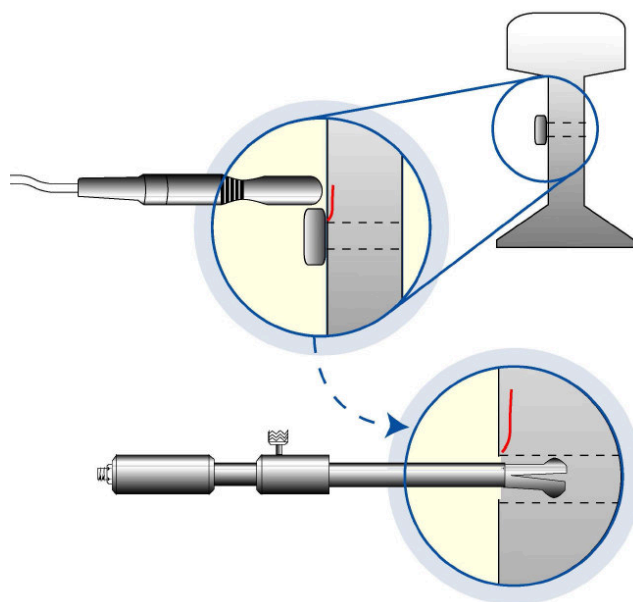
*Obr. 2.11 Manuální použití WideScan sondy na kolejnici [18]*



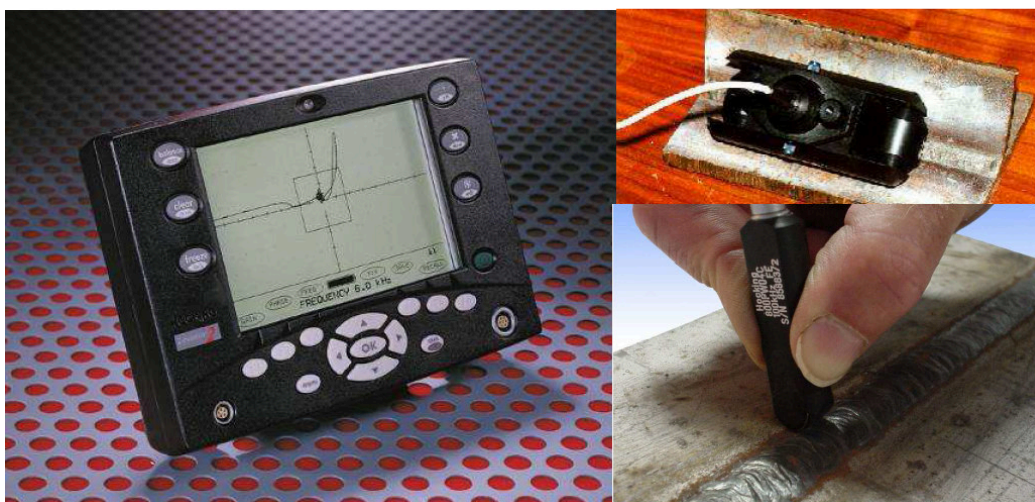
*Obr. 2.12 Vozík s WideScan sondou [18]*

Pomocí vířivých proudů se však zkouší otvory i svary kolejnic. Prozatím není tato metoda pro kontrolu svarů příliš rozšířena, ale postupně se využívá víc a víc. Kontrola otvorů a svarů vířivými proudy se provádí pomocí ruční tužkové sondy. Tyto sondy jsou určeny pro kontrolu únavových trhlin otvorů, těžce dostupných míst s omezeným přístupem a jsou k dostání v různých typech, velikostech a frekvencích. Na Obr. 2.13 lze vidět kontrola otvoru kolejnice pomocí ruční tužkové sondy.





*Obr. 2.13 Použití ruční tužkové sondy pro kontrolu otvorů vířivými proudy [18]*



*Obr. 2.14 Použití ruční tužkové sondy pro kontrolu svarů vířivými proudy [18]*

## 2.3 Ultrazvuková kontrola (UT)

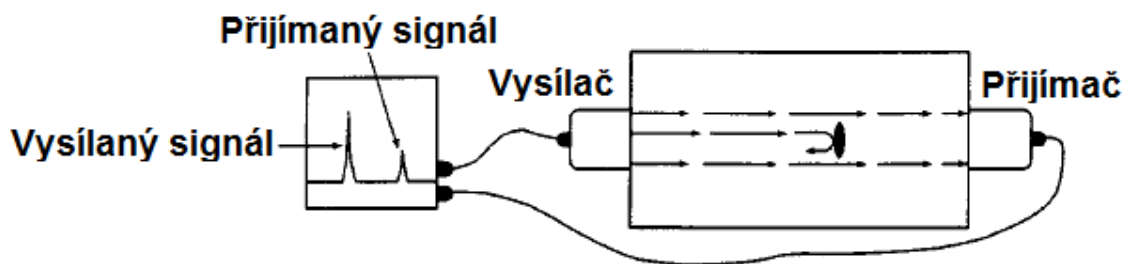
Pro tvorbu této podkapitoly byla kromě výše uvedené využita literatura [5], [17], [26].

Ultrazvuková metoda je považována za jednu ze základních NDT metod, která se využívá pro kontrolu vnitřních vad a necelistvostí materiálu. UT metoda je schopná zjistit necelistvost i ve velké hloubce pod povrchem materiálu. Pomocí UT metody se kontrolují materiály kovové, ale i nekovové, mezi které se řadí především různé typy plastů a kompozity, proto patří mezi objemové metody.

Obecně lze napsat, že je ultrazvuk mechanické kmitání částic v pružném prostředí s frekvencí vyšší, než je člověkem běžně slyšitelný zvuk, což znamená, že je vyšší než 20 kHz. Využívané frekvence pro UT metodu se pohybují v rozmezí od 0,5 MHz do 25 MHz. Metoda pracuje na jednoduchém fyzikálním principu odrazu ultrazvukové vlny od jiného akustického prostředí. Pomocí sondy se do zkoušeného materiálu opakovaně vysílají ultrazvukové vlny o určité frekvenci. Ty prochází materiálem, pokud se ale nachází ve zkoušeném materiálu necelistvost, tak se odrazí zpět. Vlny, které se odrazí zpět, jsou detekovány zpravidla stejnou sondou, která vlny vyšle a mění ji na elektrickou energii. To vše proto, aby se pomocí měřicího přístroje mohla vyhodnotit velikost odrazu a časové prodlení, zobrazeno na displeji přístroje. Rozlišují se dvě metody zkoušení ultrazvukem, a to:

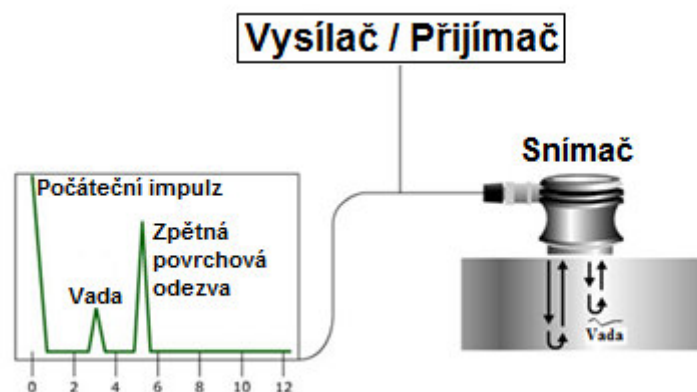
- metoda průchodová,
- metoda odrazová.

Průchodová metoda vychází ze zeslabení signálu ultrazvuku, který vysílá jedna sonda a druhá sonda slouží jako přijímací, z čehož vyplývá, že je zapotřebí použití dvou sond pro tuto metodu. To je dosti limitující vzhledem k požadovanému přístupu z obou stran. Metoda průchodová nabízí velkou výhodu v tom, že ultrazvuk urazí poloviční dráhu oproti metodě odrazové.



*Obr. 2.15 Princip detekce a zobrazení trhliny u průchodové metody [6]*

Odrážová metoda pracuje na principu odražení vln od stěny vnitřních vad a od protilehlého povrchu výrobku. V případě odražení vln od vady materiálu dojde k signalizaci – tzv. echo. Nevýhodou metody je, že vlnění vyslané ze sondy musí urazit dvojnásobnou dráhu. Následkem toho dochází k viditelnému oslabení signálu, což vede k horšímu odhalení vad.



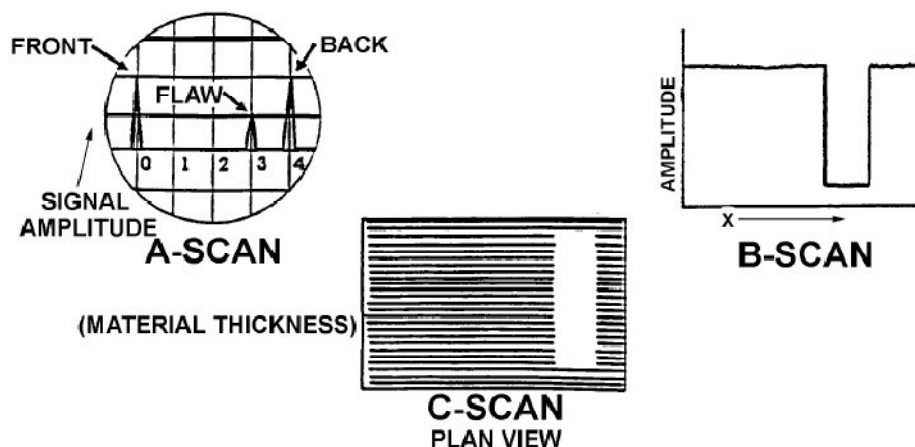
Obr. 2.16 Princip detekce a zobrazení trhliny u odrazové metody

Zdroj: <<http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/Introduction/description.htm>>

Ultrazvukové sondy se využívají pro vysílání a přijímání ultrazvukových vln. Sondy jsou zastoupeny všelijakými druhy, pro nejrůznější použití a lze je rozdělit dle provedení a účelu. Existují sondy kontaktní a imerzní, dále sondy podélných, příčných vln, které se dělí na přímé a úhlové. Sondy se dále dělí na jedno, dvou a víceměničové. Sondy se rozlišují podle toho, zda jsou málo, středně, případně hodně tlumené a označují se jako sondy Alpha, Delta, Gamma. Co se týče kontaktních sond, ty přichází s povrchem zkoušené součásti přímo do kontaktu, a proto jsou opatřeny bezpečnostní fólií proti poškození. Mezi sondou a zkoušeným materiálem musí být vazební prostředek ve formě vody, gelu nebo vazelíny, z důvodu útlumu ultrazvuku, který nastane ve vzduchu. Voda však není často používána z důvodu korozivního působení, ale mohou do ní být přidány antikorozní aditiva. Imerzní sondy jsou určeny pro bezkontaktní kontrolu. Opět musí být použit mezi sondou a zkoušeným materiálem vazební prostředek, zpravidla voda nebo olej. Přímé sondy patří k nejčastěji využívaným sondám ke kontrole pomocí ultrazvuku a jejich schopností je vyslat vlny kolmo do zkoušené součásti. Používají se zpravidla pro vysílání podélných vln. Úhlové sondy se rozdělují na sondy příčných a podélných vln. Úhlové sondy příčných vln paradoxně vyšlou podélné vlny, ty se však po průchodu přemění na vlny příčné a právě ty se poté šíří kontrolovanou součástí. Důležitou informací je, že jsou sondy schopny pracovat jen v omezeném rozsahu úhlů dopadu. U úhlových sond podélných vln se využívá pro změnu vln podélných, avšak oproti první zmíněné, vysílají

vlny příčné i podélné. Používají se tedy pro těžce prozvučitelné materiály. Sondy jedno, dvou a více měničové se od sebe liší počtem měničů pro vysílání a příjem ultrazvukových vln. Jednoměničové sondy jsou zastoupeny jediným měničem, který je schopný vysílat i přijímat vlny. Dvouměničové (známější pod názvem dvojité) používají jeden měnič pro vysílání a druhý měnič pro příjem ultrazvukových vln. Sondy víceměničové využívají zpravidla 8, 16, 32 a více měničů pro vysílání a přijímání vln.

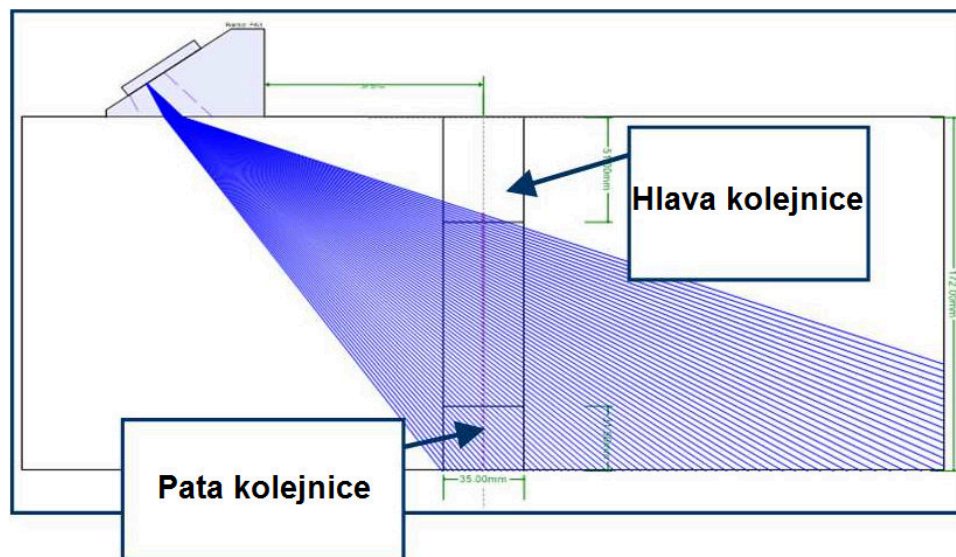
Defektoskopických přístrojů pro ultrazvukovou kontrolu je velké množství od starších analogových typů, po novější digitální typy, které je nahradily. Digitální přístroje obsahují displej, který je schopen fungovat v zobrazení A-scan, B-scan a C-scan. Pro A-scan je zobrazení takové, že na vodorovné ose je zobrazena časová osa měření a na svislé ose amplituda signálu, to zajistí odhalení s místy, kde dochází k nejvýraznějším odchylkám. Zobrazení B-scan je schopné odhalit, jak jsou rozmístěny vady v průřezu kontrolované součásti, resp. jejich hloubku. C-scan je schopný zobrazit pouze vady plošně rozložené, zároveň je ale nevýhodou, že neudává informace o hloubce ani orientaci. Pro přesné určení vady se využívají měřky, ve kterých jsou nasimulované, resp. umělé vady a pomáhají tak stanovit její tvar, velikost a orientaci.



Obr. 2.17 Jednotlivá zobrazení na displeji přístroje [6]

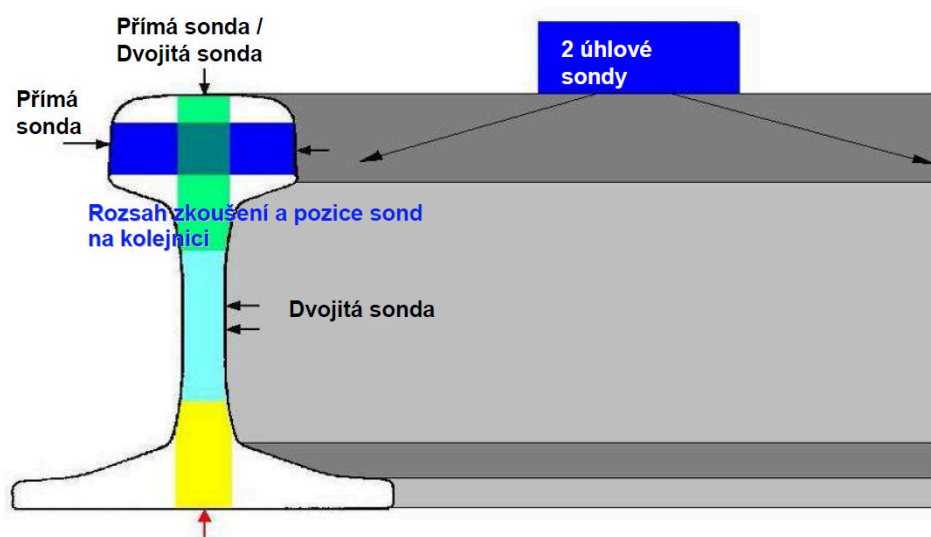
Pomocí ultrazvuku je také možné změřit tloušťku materiálu, která se však na kolejnicích prakticky nevyužívá. Na rozdíl od měření tloušťky se lze v praxi setkat s využitím ultrazvukové metody Phased Array. Ta se používá na kolejnicích především pro kontrolu svarových spojů. Tuto metodu lze přirovnat ke klasickému ultrazvuku používanému v lékařství, nelze jej však zaměňovat. Základem metody proti běžnému

defektoskopickému ultrazvuku je v proměnlivém úhlu, pod kterým se ultrazvukové vlny šíří zkoušenou součástí. Klasické sondy vysílají vlny pod jedním konkrétním úhlem, vyjma dvouměníčových sond. Sonden Phased Array jsou tvořeny několika měniči a při postupném spínání měničů dochází k dosažení žádaného úhlu ultrazvukových vln. Tím se zajistí vysílání vln v širokém rozmezí úhlů a za pomoci vhodného přístroje a softwaru se naměřené hodnoty zobrazí na displeji. Velkou výhodou je vyšetření celého průřezu materiálu a pohybem sondy se dosáhne prostorového vyobrazení vad v materiálu. Jak lze vidět na Obr. 2.18, je svar kolejnice umístěn ve skenované oblasti. Poté dochází k analýze pomocí ultrazvukového přístroje, který získává informace z Phased Array sondy. Obr. 2.18 znázorňuje schematicky ultrazvukové vlnové pole sondy vůči svaru kolejnice.



*Obr. 2.18 Vysílání ultrazvukových vln pomocí Phased Array sondy na svaru kolejnice [26]*

Kolejnice se kontrolují přímo ve výrobě, kde probíhá automatizovaná kontrola, dále se kontrolují ve výrobě srdcovky a výhybky, a to manuálně. Provozní kontroly kolejnic probíhají pomocí měřicích vozů a ručních vozíků. Výhybky, srdcovky a křížení se v provozu kontroluje pomocí ručních vozíků a také manuálně. Hledají se vady, trhliny, vměstky na hlavě, patě a stojině kolejnice, dále v šroubových spojích, svarech atd. Automatizovanou kontrolu kolejnic ve výrobě lze vidět na Obr. 2.19, jedná se o novou kolejnici, která se zkouší dle požadavků zákazníka.



*Obr. 2.19 Automatizovaná kontrola ve výrobě [17]*

Jedno z automatizovaných kontrolních systému pro nalezení vad pomocí ultrazvuku pro kolejnice poskytuje firma ATG s.r.o. Přístroj je schopen detekovat vady v hlavě a stojině kolejnice, vzhledem k automatizované kontrole je každá kolejnice kontrolována a vyhodnocována v relativně rychlém čase a při nalezení vady dojde k zastavení kontroly. Čas zkoušení se pohybuje od 0,2 do 0,5 minut na jeden zkoušený kus v závislosti na délce kolejnice. Přístroj pracuje na principu ultrazvukové odrazové metody a je určen zejména pro kolejnice typu R 65 a S 49 s maximální délkou 25 m, což jsou u nás běžně vyráběné kolejnice v TŽ, a.s.



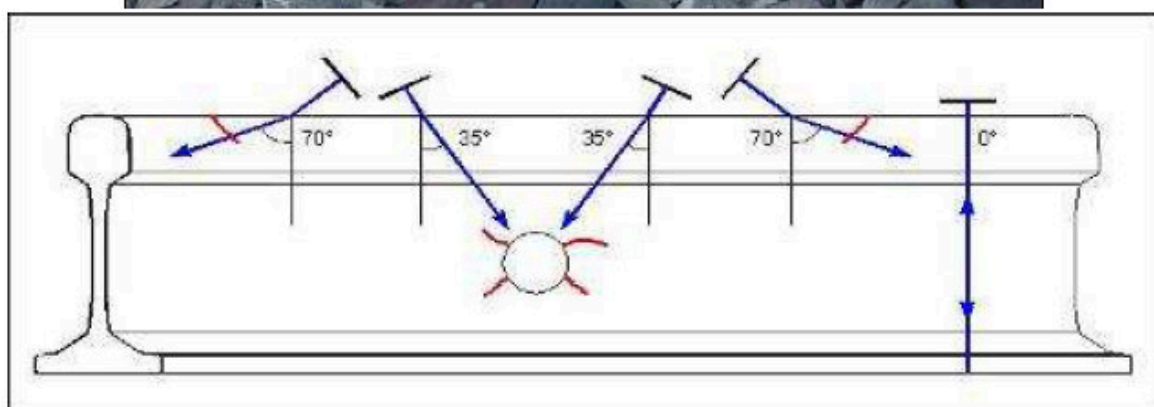
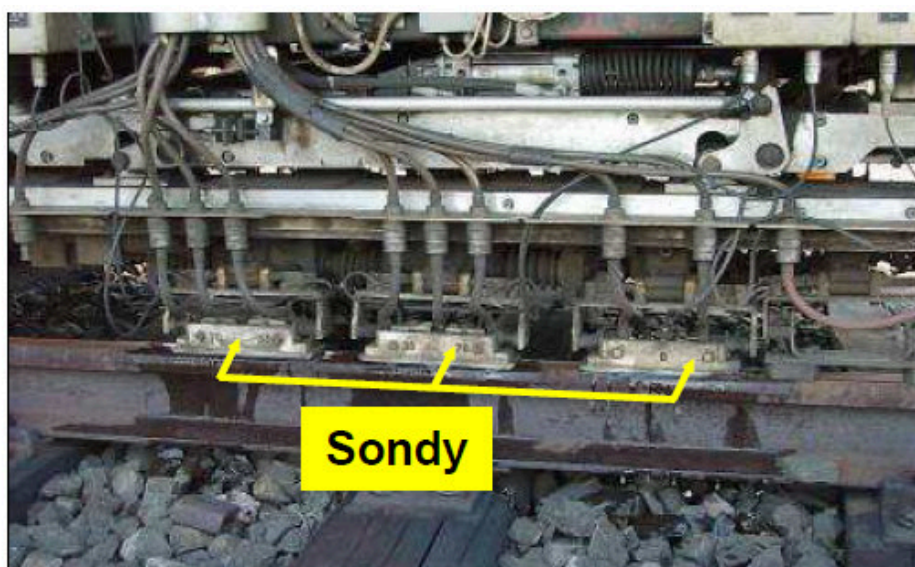
*Obr. 2.20 Automatizovaný systém pro kontrolu vad po výrobě kolejnic [19]*



Provozní kontrola kolejnice za pomoci zkušebního vlaku (Obr. 2.21). Zkušební vlak má rozmístěné ultrazvukové sondy dle Obr. 2.22.



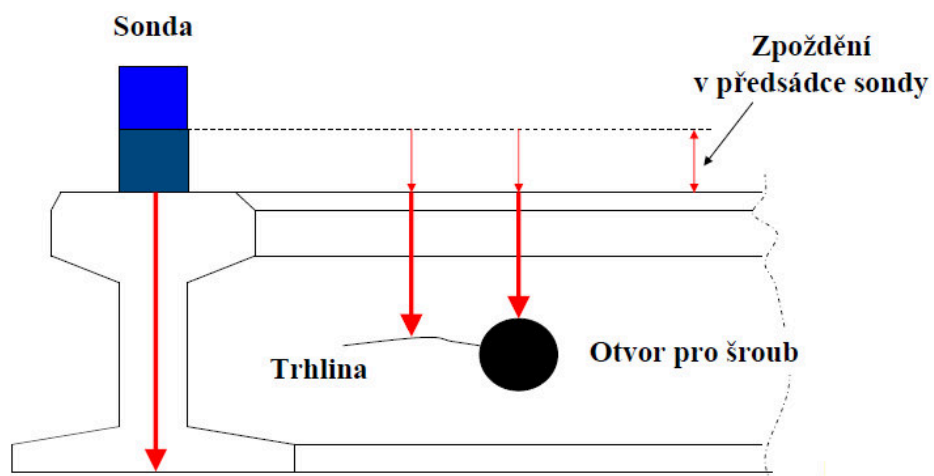
*Obr. 2.21 Zkušební vlak [17]*



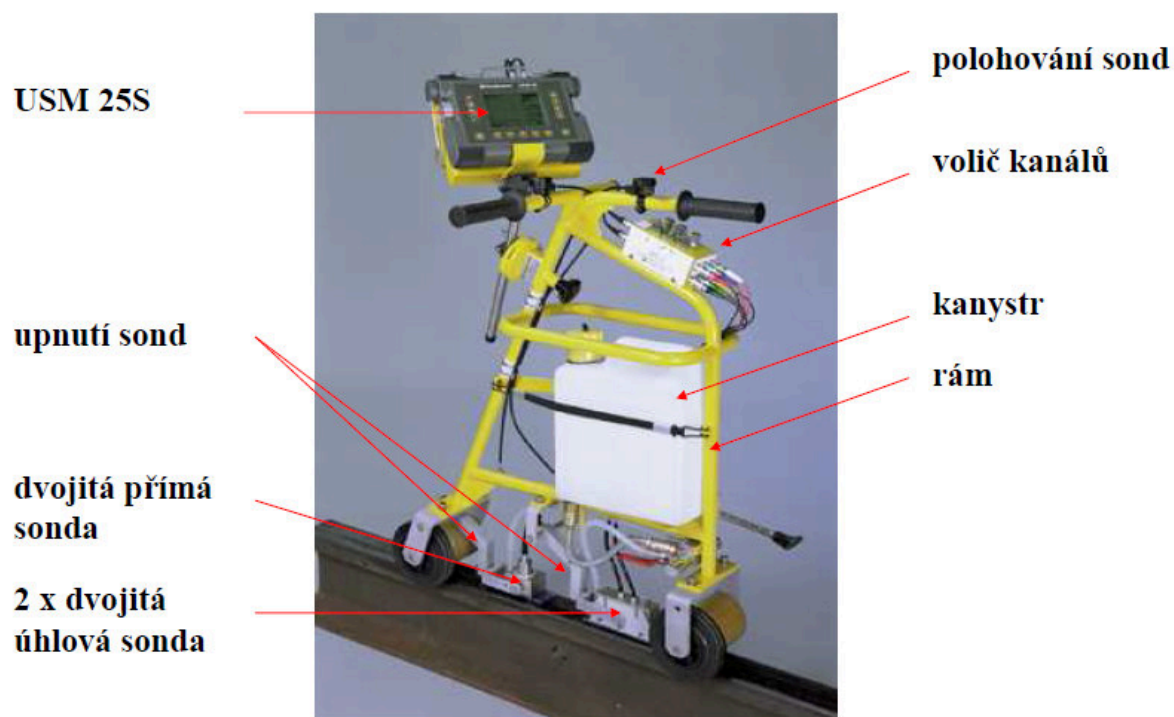
*Obr. 2.22 Rozmístění sond na zkušebním vlaku (nahore) a projev ultrazvukových vln v kolejnici vysíláním ze zkušebního vlaku (dole) [17]*



Manuální provozní kontrola kolejnic a výhybek pomocí ručního přístroje SPG. Ten pracuje s dvojitou sondou a na Obr. 2.23 je vidět kontrola šroubového spoje kolejnice.



*Obr. 2.23 Kontrola šroubového spoje kolejnice pomocí ručního přístroje SPG [17]*



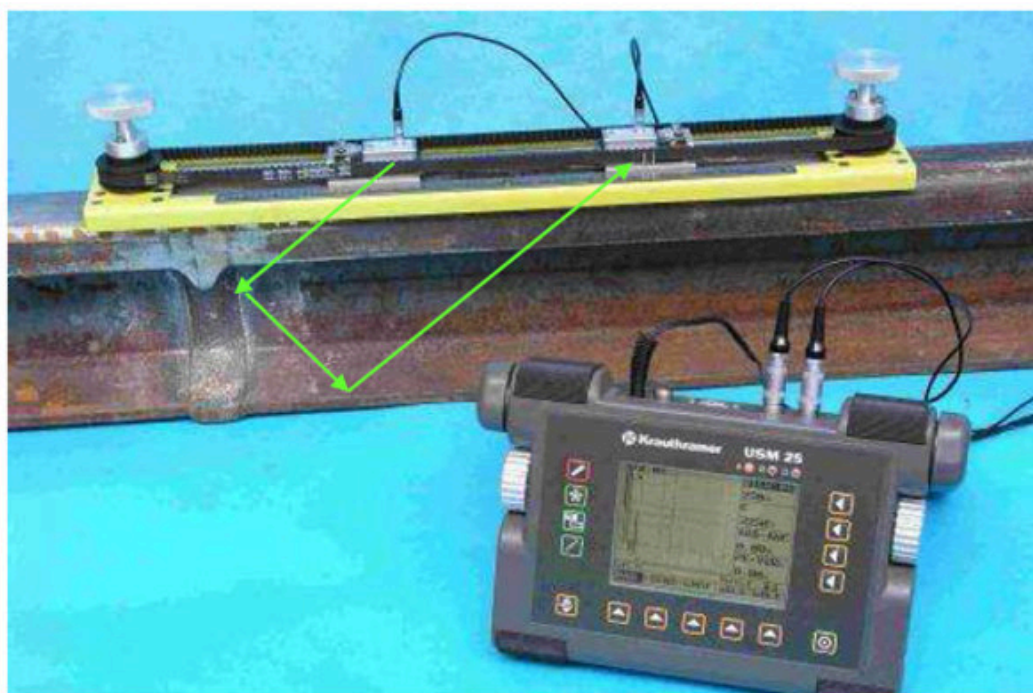
*Obr. 2.24 Vozík pro ultrazvukovou kontrolu kolejnic - SPG [17]*

Na Obr. 2.25 lze vidět manuální ultrazvukovou kontrolu v provozu pomocí manuálního přístroje.

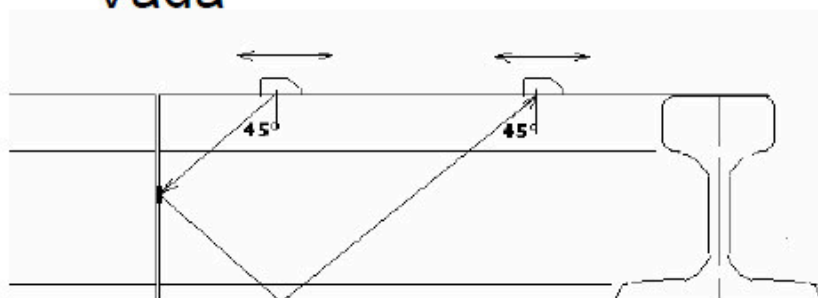


*Obr. 2.25 Manuální kontrola kolejnic pomocí ultrazvuku [17]*

Manuální ultrazvuková kontrola svaru kolejnice je řešena jako tandemová zkouška. Na Obr. 2.26 lze vidět tandemovou zkoušku na svaru kolejnice.



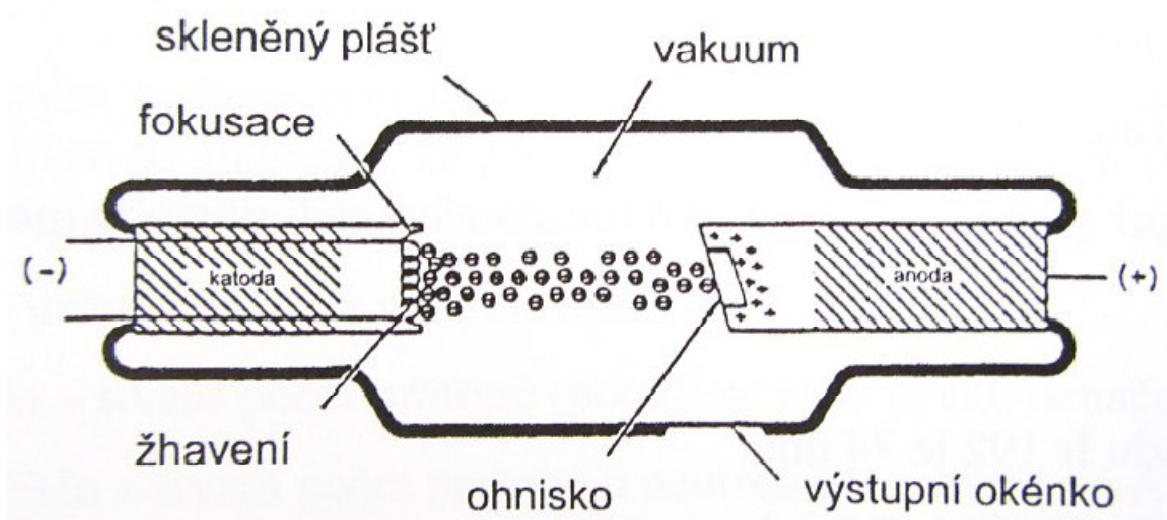
Vada



*Obr. 2.26 Tandemová zkouška svaru kolejnice [17]*

## 2.4 Prozařování (RT)

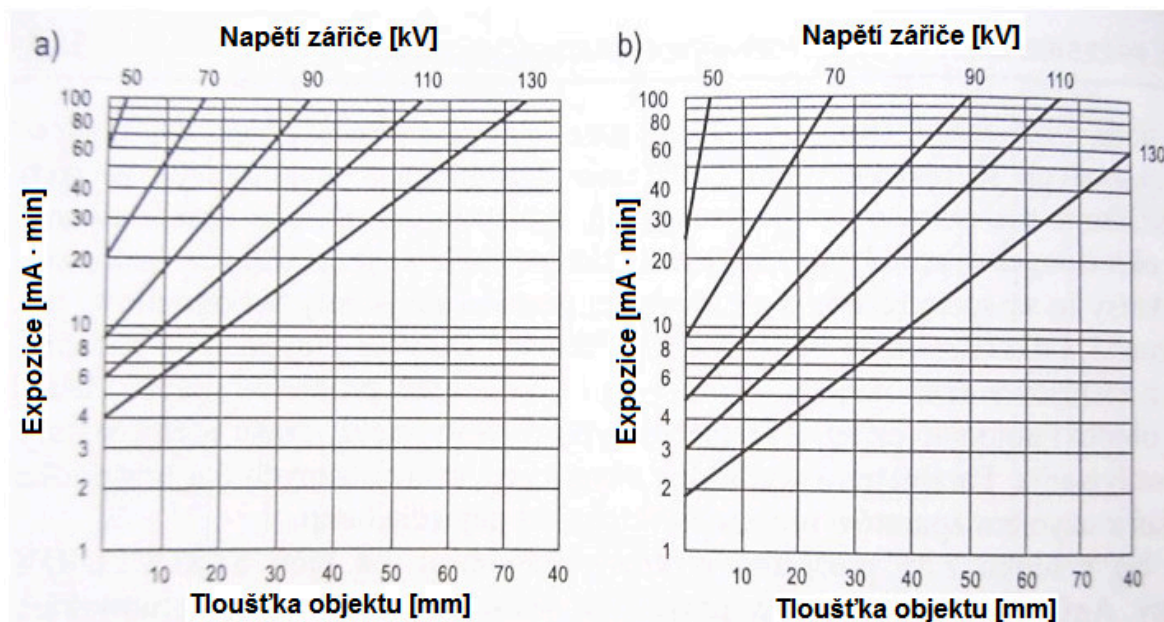
Jedná se o jednu z nejpoužívanějších NDT metod pro kontrolu vnitřních vad materiálu. Používá se především pro sledování jakosti svarů, odlitků, elektronických součástek atd. Tato metoda se nazývá průmyslová radiografie a je založena na principu prozáření zkoušeného materiálu buďto rentgenovým X, nebo gama zářením. Rentgenové záření X je ve své podstatě krátkovlnné fotonové záření vytvářející se v elektronovém obalu atomu, jehož zdrojem je rentgenka.



Obr. 2.27 Schéma rentgenky [1]

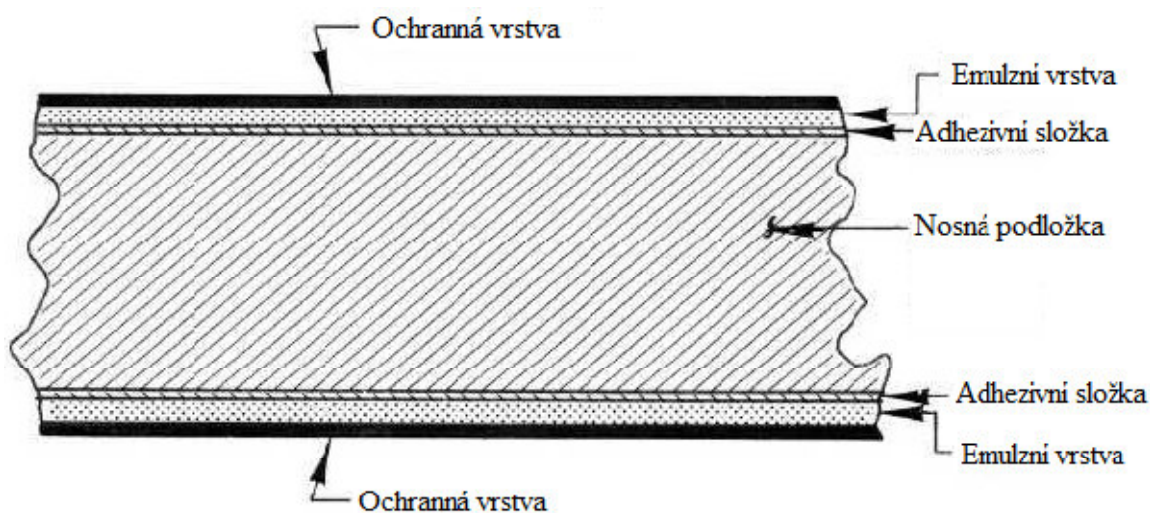
Aby vzniklo rentgenové záření X, musí existovat zdroj elektronů a zařízení pro jejich urychlení, zároveň je potřeba terčík pro zabrzdění urychlených elektronů. Záření gama pochází z radioaktivních izotopů, které vyzařují nepřetržitě. Principiálně se tedy jedná o zeslabování procházejícího ionizujícího záření, které je v místě vady (s vhodnou orientací vůči směru záření) méně, či více zeslabeno. Zeslabení záření je závislé na vnitřních i povrchových vadách materiálu, zejména trhlin, dutin, aj., a také změny tloušťky materiálu způsobené korozi apod. To se projeví na záznamu zvaném radiogram, který nabízí 2D stínový obraz 3D vad. Vady se objevují ve tvarech a rozměrech vzhledem k rovině kolmé ke směru šíření záření. Lze tedy vidět rozdíl v zčernání radiogramu, který je v oblasti vady a bez ní. To nabídne informace o výšce vady v rovině, která je rovnoběžná se směrem šíření záření. Pro spolehlivější údaje se využívá ještě stereografie, dvojí expozice a snímání do pravého úhlu. Velmi důležitá je u radiografie volba zdroje záření a v neposlední řadě filmu, který musí odpovídat požadovaným parametrům. Volba správného zdroje záření resp. energie zářiče zlepšuje viditelnost konkrétních vad. Pokud se sloučí správná energie zářiče s expozičním časem, je velká pravděpodobnost, že se povede dosáhnout čitelného kontrastu konečného radiogramu. K dosažení vyhovujícího času expozice se aplikují expoziční diagramy. Ty jsou závislé na použitém materiálu a jeho tloušťce, dále na energii a typu zářiče. Důležitá je také vzdálenost prozařované oblasti od zářiče a zpracování záznamu.





Obr. 2.28 Příklady expozičních diagramů [2]

Jako výstup kontroly prozařováním se používají radiografické (rentgenové) filmy. Způsob zobrazení se rozděluje na ionizační, který je pomocí rentgenového filmu a na luminiscenční, zastoupen např. fluorescenční fólií. Průřez průmyslovým radiografickým filmem lze vidět na Obr. 2.29, kde na vnějších stranách obsahuje ochrannou vrstvu (tloušťka cca 0,001 mm), na tuto vrstvu navazuje oboustranná vrstva emulsní (tloušťka cca 0,01 mm) a uvnitř se nachází nosná podložka (tloušťka cca 0,1 mm).



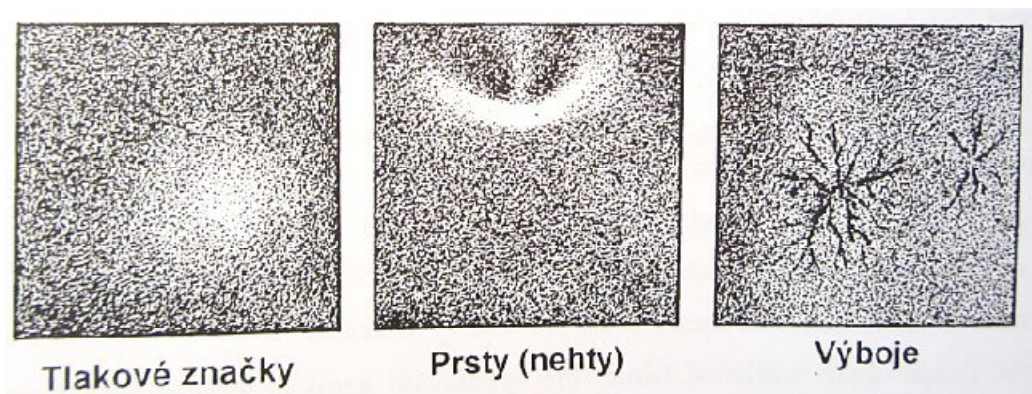
Obr. 2.29 Řez rentgenovým filmem [6]

Vlastnosti filmů jsou zpravidla znázorněny křivkou zčernání (D-křivka). Citlivost filmu je dle normy DIN 6829 a říká, že dávka k potřebnému dosažení zčernání je rovná 1.

D-křivka se liší v závislosti na zrnitosti filmu, což má největší vliv na jeho volbu. Hrubozrné filmy se vyznačují větší citlivostí oproti filmům jednozrným, ty zase poskytují lepší kontrast než první zmíněné. Obecně lze tedy napsat, že čím je nižší citlivost filmu, tím je menší zrnitost a zároveň stoupá rozlišovací schopnost. Proto je kladen velký důraz na vhodnou volbu druhu filmu, v závislosti na délce expozice, tloušťce materiálu a energii záření. U filmů s kovovou fólií je cílem zvýšení zčernání a tzv. filtrace rozptýleného záření, která slouží pro zvýšení kontrastu energeticky silných zářičů. Dalším z používaných je fluorescenční fólie, ta slouží také k zvýšení zčernání a vlivem ionizujícího záření jsou schopny pomoci látek obsažených ve fólii, vydávat viditelné světlo. Fluorescenční fólie našly své použití především pro malé energie záření. Výše zmíněné fólie lze i kombinovat a nazývají se fluorometalické fólie. Obecně je kladen velký důraz na stabilitu výsledného snímku, tak aby mohl být uchován po dobu životnosti zkoušené součásti, případně do další kontroly. Po expozici filmu dojde v citlivé vrstvě k vytvoření tzv. latentního obrazu, jenž není viditelný zrakem. Proto je potřeba jej zviditelnit resp. vyvolat pořízené snímky. To se provádí jednak manuálně, ale i pomocí automatu. Proces vyvolání se rozděluje do 4 částí a nastává při něm redukce ionizovaných krystalů AgBr na kovové stříbro.

1. Vývojka – Jedná se o první lázeň, kdy nastává chemický proces vyvolání a je kombinací akcelérátoru (odstraní ochrannou vrstvu) a redukčního prostředku (redukuje AgBr na Ag).
2. Přerušovací lázeň (voda s octem) – Druhá lázeň, která je určena k zastavení účinků vyvolávacích látek pomocí neutralizace a odstranění alkálií, které zůstanou v malé míře ve filmu při vyjímání z vývojky. Tato lázeň má za úkol chránit ustalovač.
3. Ustalování – Třetí lázeň mokrého chemického procesu, který má za úkol zprůhlednění (rozpouští se neosvětlená zrna AgBr) a vytvrzení (zpevnění pro zabránění poškrábání filmu při manipulaci).
4. Praní – Čtvrtá a zároveň poslední lázeň se provádí v jarové vodě a nakonec dochází k sušení filmu.

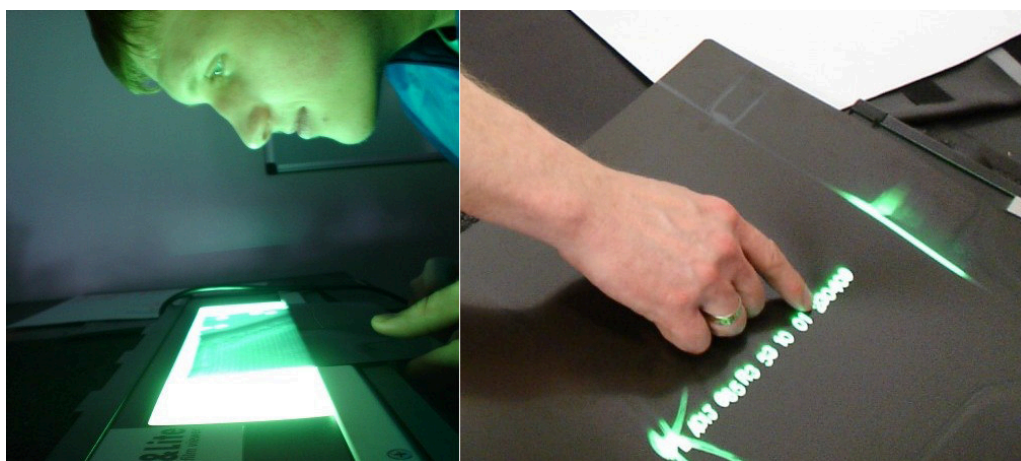
Nejdůležitější při vyvolávání filmů je čas a teplota vývojky, která má zpravidla 20° C a trvá 5 minut. Je důležité si dát pozor na neopatrnost manipulace s filmy, jež může zapříčinit vady v radiogramu, které se nazývají artefakty (Obr. 2.30). Ty mohou být nesprávně vyhodnoceny a považovány za vady.



*Obr. 2.30 Příklady artefaktů [1]*

Pro vyhodnocení radiogramů se užívá přístroj zvaný negatoskop. Ten vysílá světelné záření pomocí halogenu a cílem je získat světlo zelené či bílé barvy. Dále existuje metoda zaměřená pro pohled na zkoušku v reálném čase, kde dochází k přeměně radiace na optický, případně elektrický signál a výsledné zobrazení je ihned k dispozici. Metoda se nazývá radioskopie.

Pro snadné zjištění totožnosti kontrolované součásti a označení polohy se umísťují kovové číslice a písmena označující daný předmět a polohu, které se objeví na radiogramu (Obr. 2.31). Pro otestování detekčních možností se užívá měrek. Měrky se používají v závislosti na použitém tvaru a využití nachází zejména měrky drátkové a otvorové. Dokonalé vyobrazení tvarů na radiogramu je důkazem vhodně zvolených parametrů zkoušky. Měrky jsou zpravidla stupňovité (různé tloušťky), aby bylo možno ověřit citlivost na změnu tloušťky daného měření.



*Obr. 2.31 Pohled na snímek pomocí negatoskopu, vpravo viditelná čísla pro označování snímku [6]*



Prozařování se využívá ke kontrole AT svarů hlavy a stojiny kolejnice. Pokud mají technici podezření na případnou vadu v patě kolejnice, může se provést také kontrola prozářením svaru paty. Před samotnou kontrolou prozářením se provede vizuální kontrola. V případě defektu ve svaru může být ohrožena bezpečnost dopravy, proto se kontrola AT svarů musí provádět a slouží k zachování jakosti kolejnice. Na Obr. 2.32 lze vidět snímek, který ukazuje trhlinu v AT svaru kolejnice.



*Obr. 2.32 Radiograf svaru kolejnice s viditelnou trhlinou*

*Zdroj: <<http://www.aws.org/itrends/2004/07/it0704-19.pdf>>*

### 3 INOVATIVNÍ METODA NDT NA KOLEJNICÍCH

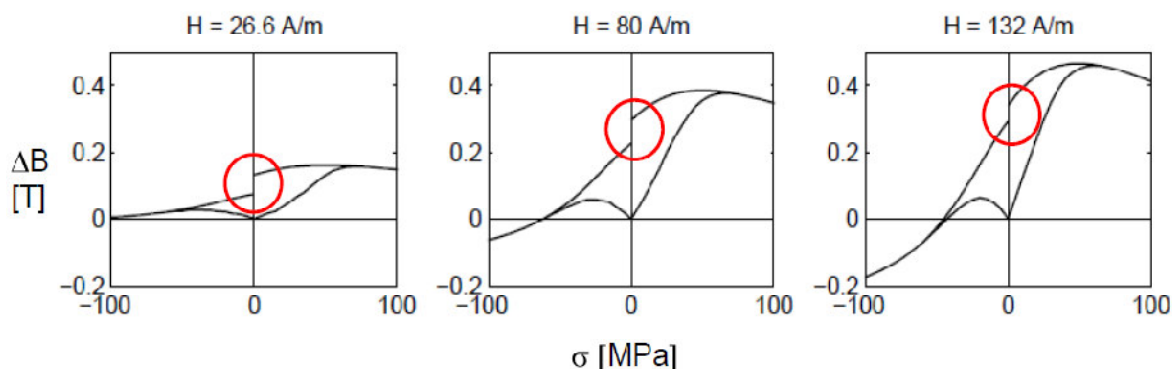
Snahou této kapitoly je prozkoumat relativně nově objevenou metodu u nás. Metoda se nazývá Magnetická paměť kovu (MMM) a cílem je její aplikace na kolejnicích. Vzhledem k tomu, že jsou kolejnice za svého provozu namáhány a musí se tedy kontrolovat na různé vady a trhliny, rostou také nároky na kvalitu a jakost. Dosavadními používanými metodami jsou hlavně vizuální a ultrazvuková kontrola (nejpoužívanější), dále pak prozařování (svary) a vířivé proudy (po výrobě). Výhodou pro použití MMM by mohla být rychlost kontroly, nevýhodou pak vysoká citlivost a okolní vlivy.

#### 3.1 Magnetická paměť kovu (MMM)

Pro tvorbu této kapitoly byla využita literatura [4], [6], [11], [14], [16], [24].

Jedná se o metodu NDT, která byla vyvinuta v Rusku a jejím objevitelem je Profesor A. A. Dubov. Vývoj této metody probíhá od 80. let 20. století a hlavním představitelem je ruská společnost Energodiagnostika. Klasické NDT metody (VT, UT, ET atd.) jsou orientovány na odhalení vzniklých vad. Revoluci přináší právě metoda magnetické paměti kovu, jejichž hlavní předností je odhalení míst, kde je pravděpodobnost vzniku vady ještě před její iniciací. Metoda MMM je označována za pasivní, což znamená, že nepotřebuje zavádět energii do zkoušené součásti. Důvodem je fakt, že metoda pracuje pomocí přirozeného magnetického pole Země. Díky tomu je velká pravděpodobnost rozsáhlého použití v průmyslu.

Základem metody je spojení mechanických a magnetických jevů (Obr. 3.1). Ve feromagnetickém materiálu se projeví zbytková magnetizace, která vznikne ve výrobním procesu (tepelného zpracování, ochlazování, tváření, ohýbání, tvarování apod.). Důvodem je namagnetizování materiálu, ke kterému dojde v prostředí zemského magnetického pole, i když je materiál v klidu. Literatura uvádí, že princip MMM vychází z intenzity magnetického pole  $H_p$  těsně nad povrchem materiálu, ovšem důležitý a směrodatný je až jeho gradient  $dH_p/dx$ . Ještě než dojde ke vzniku trhliny, se v daném místě materiálu mění intenzita jeho magnetického pole vyvolaná koncentrací napětí. MMM je schopná detekovat i vady, které už vznikly, díky koncentraci mechanického napětí nacházejícího se na koncích trhlín. Hlavním ukazatelem je velikost a strmost gradientu.



Obr. 3.1 Vliv jednoho cyklu tahu/tlaku na změnu magnetizace ocelového vzorku [6]

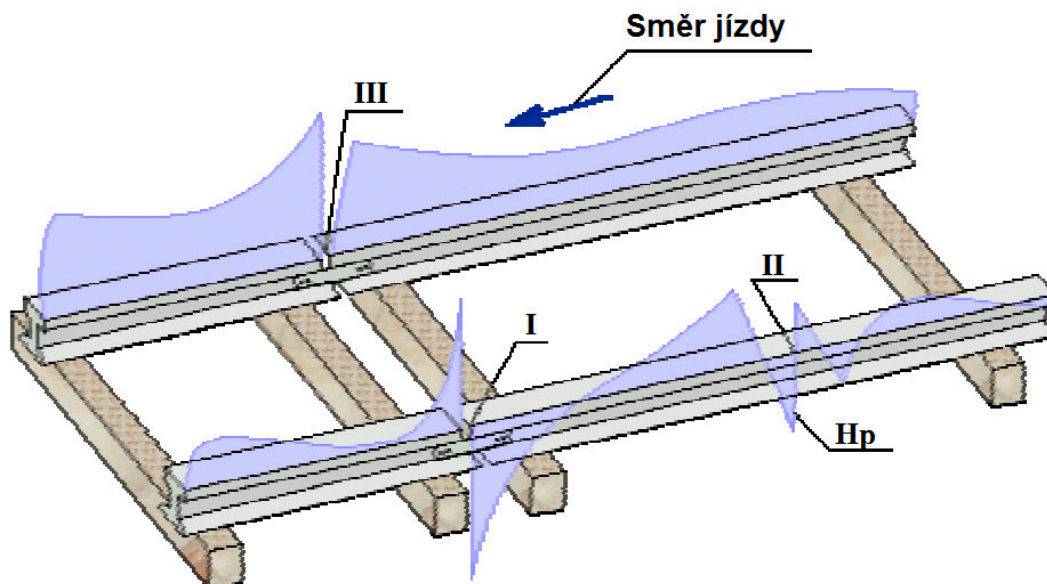
Ačkoliv se metoda MMM dá použít pouze na feromagnetických materiálech, lze kontrolovat součásti skrze nemagnetické materiály, protože se jedná o bezkontaktní metodu. Velké plus je tedy v tom, že není zapotřebí součást jakkoliv povrchově upravovat, případně čistit. Jako mínus lze považovat okolní vliv magnetických polí, který dokáže ovlivnit měření, což vede k nepřesným naměřeným výsledkům. Proto je potřeba brát zřetel na místo, kde se s MMM měří. Udává se, že by se kolem měřené součásti neměl vyskytovat zdroj magnetického a elektromagnetického pole (např. vzniká během svařování) v délce cca 2 m. Za touto délkou už by měření nemělo být ovlivněno. Nesmírnou výhodou oproti ostatním NDT metodám je rychlost kontroly, její opakovatelnost a mnohdy i zkoušení za provozu, to je ovšem podmíněno určitými podmínkami. Hlavním využitím je určení SCZ, poruch a heterogenit v mikro- a makrostruktuře materiálu a svarových spojích. Magnetická paměť kovu má své zastoupení hlavně v Rusku, kde se využívá ke kontrole plynovodů, potrubí, kolejíšť, tlakových nádrží, turbín, ozubených kol a svarů. Většinou se využívá pro poměrně velké díly.

Pro skenování intenzity magnetického pole se využívá skenovací zařízení ve formě vozičku, který je opatřen snímacími sondami. Zařízení je dále opatřeno kolečky pro snímání vzdálenosti  $L_x$  a příslušnou elektronikou pro zesílení a digitalizaci signálů ze sond. Skenovacích zařízení je mnoho druhů pro různé součásti a aplikace lišících se hlavně počtem a umístěním sond. Se skenovacím zařízením je propojen měřicí přístroj umožňující naměřená data graficky zobrazit na displeji. Data je možno uložit do paměti a poté je lze stáhnout do PC a za pomoci softwaru, který je dodáván společně s přístrojem,

je analyzovat. Nastavit jde zobrazení jak  $H_p$ , tak  $dH_p/dx$  v číselné i grafické podobě, tzv. magnetogram.

Kolejnice na železniční trati podléhají dynamickému zatížení, proto je velký potenciál k tomu, aby se použila magnetická paměť kovu. Metoda je schopná identifikovat typické vady kolejnic popsané v kap. 1.2.3. MMM dokáže oproti ultrazvukové kontrole rozpoznat i trhliny v první fázi vývoje, které ultrazvuk nezachytí. Stále více a více nebezpečné jsou povrchové vady vyplývající z prokluzu kol, které přispívají k tvorbě postupně se rozšiřujících trhlin. Tyto trhliny jsou ultrazvukem nezachytitelné, jedná se o tzv. mrtvou zónu, z důvodu drsnosti povrchu kolejnice, dojde ke ztrátě akustického kontaktu.

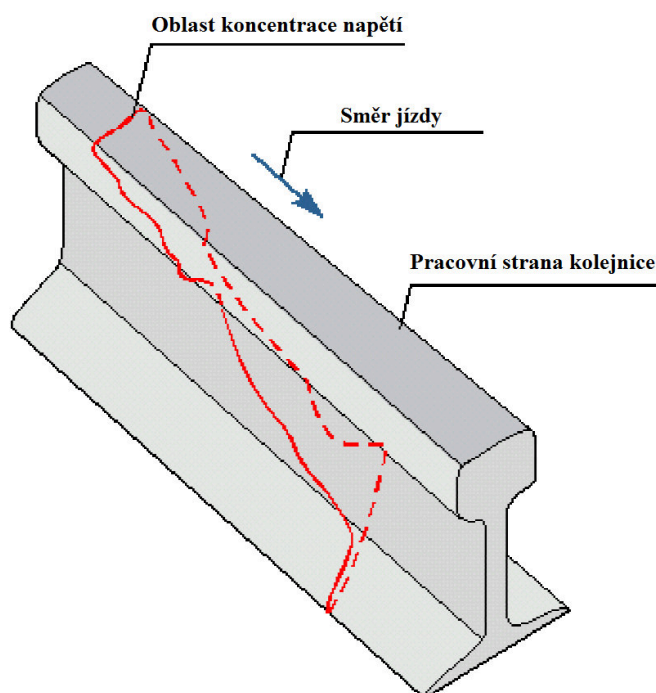
Na Obr. 3.2 lze vidět rozložení intenzity magnetického pole  $H_p$  podél povrchu kolejnice zaznamenaný na jedné z nejvíce namáhaných částí provozní kolejové dráhy. Dle použité techniky se profil  $H_p$  kvalitativně shoduje se zbytkovým rozložením napětí železnice. To je patrné z Obr. 3.2, že v oblastech I, II a III má  $H_p$  absolutní hodnotu a mění se prudce jeho orientace z kladných do záporných hodnot. V oblasti I odhalila vizuální kontrola v místě spojení na jedné z kolejnic odlupování kovu. Oblast II odpovídá svou změnou  $H_p$  vadě, zatímco rozhraní kolejnicového spojení odpovídá oblasti III.



*Obr. 3.2 Rozložení intenzity magnetického pole na daném úseku kolejnice [16]*

Na Obr. 3.3 je problém v kontrole paty kolejnice, kde nastala únavová trhlina vytvořená za provozu. Obr. 3.3 znázorňuje rozmístění koncentrací napětí a deformací

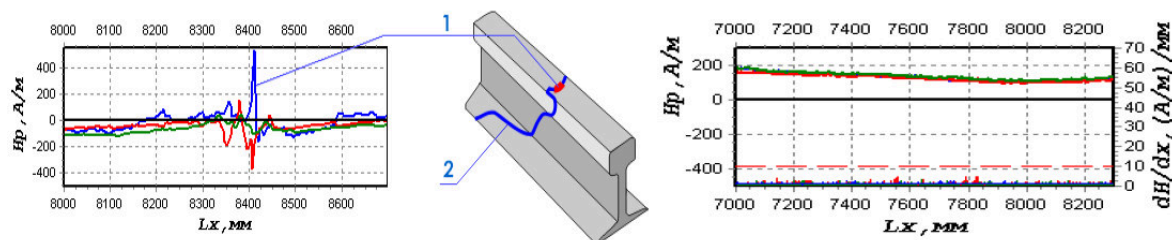
zjištěných na jednom z úseků trati pomocí MMM. Podél této hranice je možný rozvoj trhlin. Uvedený příklad svědčí o možnosti kontroly paty kolejnice za použití MMM. Pokud se pomocí MMM zjistí vada, resp. dojde ke změně intenzity magnetického pole, přichází řada na ultrazvukovou kontrolu pro zajištění správnosti měření a detailnějšího obrazu polohy a velikosti vady.



Obr. 3.3 Rozmístění koncentrace napětí při vniku trhliny na kolejnici [16]

Navrženy jsou komplexní počítačové přístroje a speciální skener pro jejich montáž na defektoskop podvozku a defektoskop vozidla za účelem přesné kontroly stavu na kolejnicích. Jejich rozsáhlé použití je však otázkou budoucnosti.

Pro ukázkou je na Obr. 3.4 magnetogram (výstup senzoru zobrazen na displeji přístroje) kolejnice s trhlinou a magnetogram znázorňující kolejnici bez vad.



Obr. 3.4 Ukázka diagnostiky kolejnice: – magnetogram kolejnice s trhlinou (vlevo); – magnetogram kolejnice bez vad (vpravo) [11]

## 4 PRAKTICKÉ POUŽITÍ NDT NA KOLEJNICI

Pro tvorbu této kapitoly byla využita literatura [14], [20].

Díky získání 600 mm dlouhé širokopatní kolejnice od TŽ, a.s. je možno provést na kolejnici v laboratoři VŠB – TU Ostrava praktické měření pomocí všech NDT metod využívaných na kolejnicích. Zároveň bude použita inovativní metoda – magnetická paměť kovu. Kolejnice je přímo z výroby po provedení standardních kontrol. Pro ověření, zda je kolejnice opravdu bez jakýchkoliv vad, byla podrobena kontrole pomocí MMM a celkové ultrazvukové kontrole. Vzhledem k tomu, že přístroj pro ultrazvukovou kontrolu v laboratoři je spíše pro ukázkou studentům a jedná se o tloušťkoměr, došlo k domluvě s firmou Jiří Brus – BVD ke kontrole právě u nich. Firma disponuje prvotřídní NDT technikou na všechny NDT metody a vyšla nám ve všem maximálně vstříc.

### 4.1 Kontrola kolejnice z výroby

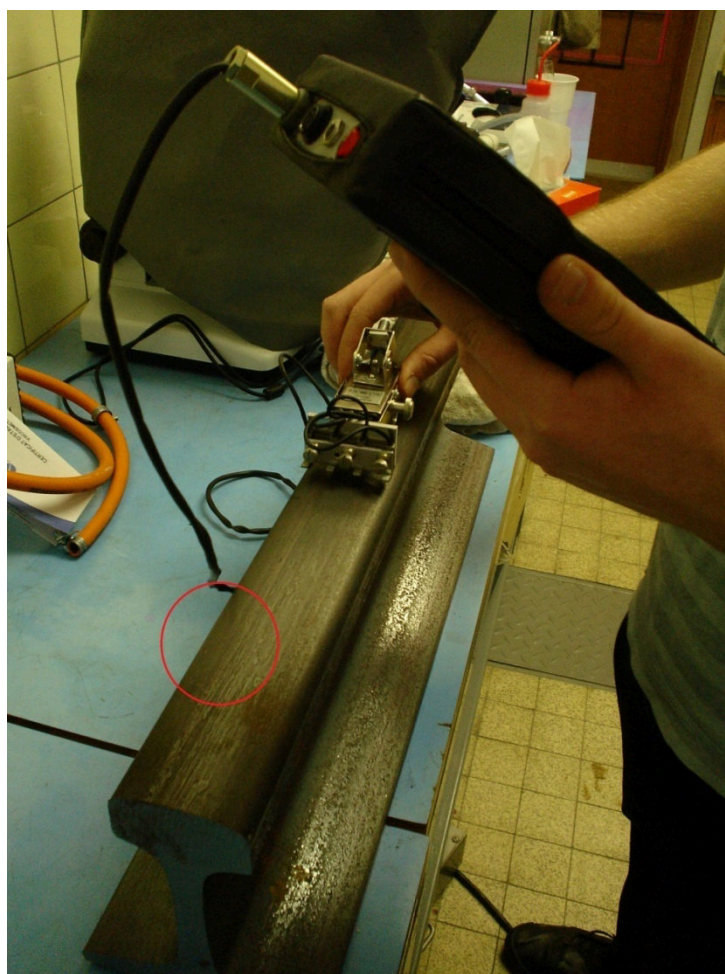
Nejdříve byla provedena kontrola pomocí magnetické paměti kovu, kde byla jistota, že není kolejnice prozatím podrobena vnějším magnetickým vlivům. Pro kontrolu pomocí MMM byl použit přístroj společnosti Energodiagnostika s 8-kanálovým snímačem Obr. 4.1, jenž je vybaven měřičem vzdálenosti, to vše ve vlastnictví VŠB – TU Ostrava. Přístroj je pevné konstrukce a nevýhodou jsou senzory, které nejsou odolné vůči rázům, čímž vznikají nepřesnosti při neopatrné manipulaci během měření. Signál ze snímače vzdálenosti vyšle impuls ke změření a zaznamenání aktuální hodnoty intenzity magnetického pole. Výsledný magnetogram dává závislost intenzity magnetického pole na vzdálenosti.



Obr. 4.1 Přístroj Energodiagnostika IKN-3M-12 a 8-kanálový snímač [14]

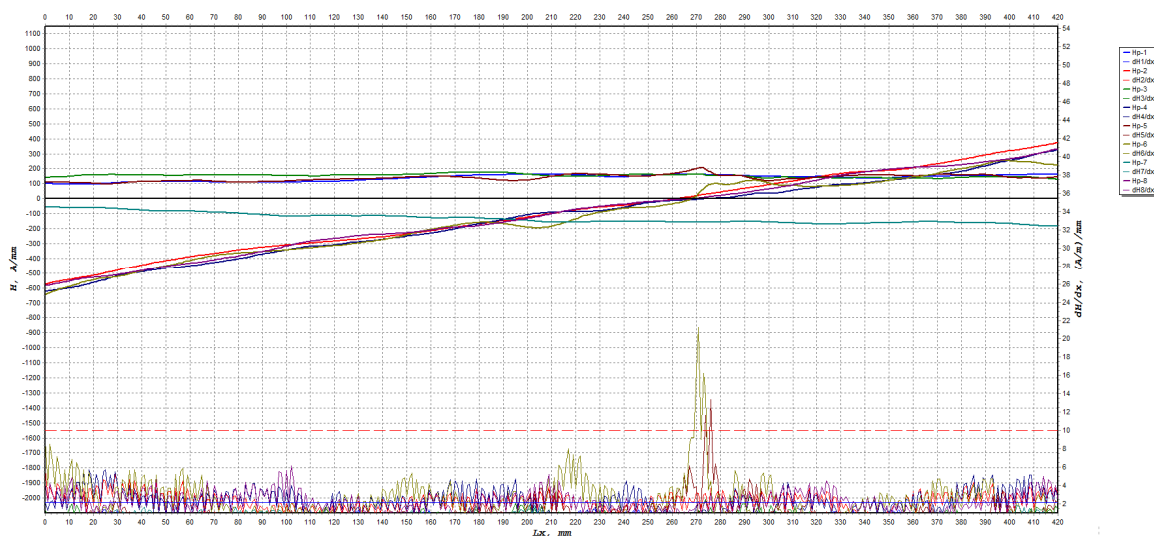


Při kontrole MMM byla v označeném místě, viz Obr. 4.2 indikována vada, resp. došlo ke změně intenzity magnetického pole a jeho gradientu. To lze vidět na magnetogramu viz Obr. 4.3 a jedná se o kanály sondy č. 5 a 6. Vzhledem k tomu, že u kanálu č. 5 nedošlo ke změně polarity intenzity magnetického pole a u kanálu č. 6 nedošlo ke skokové změně polarity, ale k plynulé změně, nejedná se pravděpodobně o vnitřní vadu, ale pouze o změnu koncentrace napětí ve struktuře materiálu. Ta může být způsobena pouhým úderem kovového předmětu, z čehož je patrné, že se jedná o opravdu citlivou metodu.



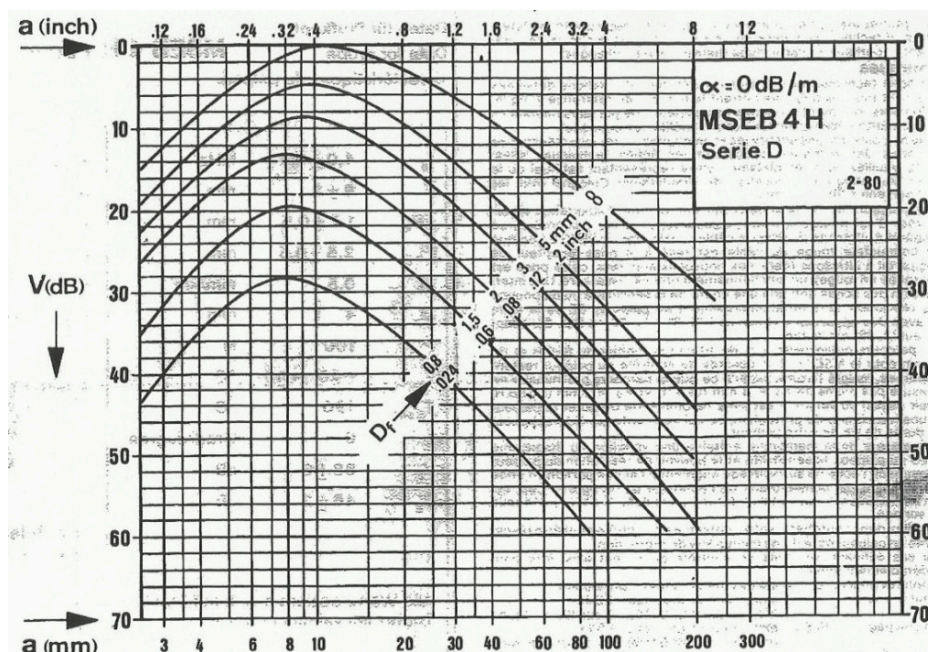
*Obr. 4.2 Měření kolejnice pomocí MMM s označeným inkriminovaným místem*





Obr. 4.3 Magnetogram – intenzita magnetického pole (nahore) a jeho gradient (dole)

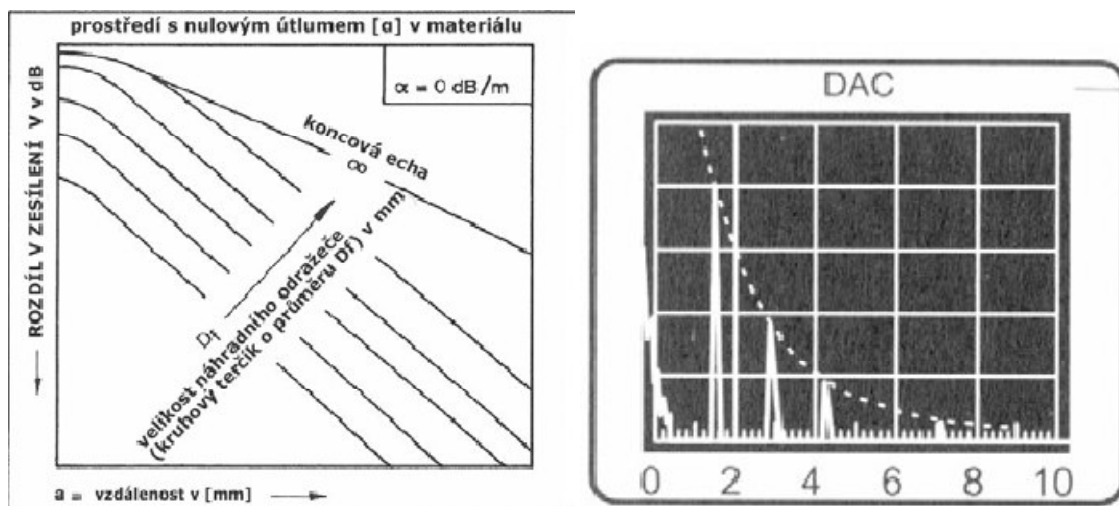
Na základě nálezu byla kolejnice podrobena celkové ultrazvukové kontrole všech míst na kolejnici. UT byla použita pro potvrzení, nebo vyvrácení možnosti vnitřní vady kolejnice. Používané ultrazvukové přístroje byly USM 25 S a USN 52 R. Přístroj USN 52 R je lehký, kompaktní a zvláště vhodný pro vyhledání a vyhodnocení materiálových vad, měření tloušťky stěn a dokumentaci všech výsledků zkoušek a měření. Frekvence pro kontrolu se volí v rozmezí 0,25 až 11 MHz, A - Scan displej, automatická kalibrace ultrazvuku. Pomocí přístroje USN 52 R byla změřena celá kolejnice, tzn. pata, hlava a stojina. Přístroj byl nastaven na 80% obrazovky plus přídavné zesílení 24 dB, navíc byl nastaven na hledání vad 1 mm a větších, což se v běžné praxi takřka nevyužívá. K přístroji byla použita dvojité (dvouměníčová) sonda MSEB – 4 MHz. Vyhodnocení dle standardního vyhodnocovacího AVG diagramu viz Obr. 4.4, který je základem AVG – metody (A – vzdálenost v mm, V – rozdíl v zesílení  $\Delta V$  v dB, G – velikost náhradního odražeče).



Obr. 4.4 AVG diagram sondy MSEB – 4 MHz

Zdroj: Dokumentace Jiří Brus – BVD

Vyhodnocovací diagramy se používají k určení velikosti echa v A – Scan displeji (velikost amplitudy v čase). Jednotlivé typy sond mají své diagramy, které musí zprostředkovat výrobce. K určení rozměrů vady je potřeba porovnat vadové echo s referenčním předem definovaného tvaru, velikosti a polohy. AVG diagram se vyznačuje soustavou křivek, které udávají logaritmickou nebo semilogaritmickou závislost mezi vzdáleností, zesílením a průměrem referenční kruhové vady kolmé k ose ultrazvukového svazku. AVG diagramy slouží k vyhodnocení průměru náhradní vady s echem, které má shodnou výšku, jako echo referenční kruhové vady. Dalším diagramem je DAC, což je opět soustava křivek získaných z měření na referenční měrce s bočními vývrty vyrobeného z materiálu stejných vlastností jako zkoušený. Na displeji se zobrazí pouze jedna DAC křivka, případně jsou posunuté o 6 a 14 dB nebo křivky 25, 50, 75% z hodnot referenční křivky. U kontroly se pak zjišťuje překročení amplitudy vadových ech přesahujících referenční křivku.



Obr. 4.5 AVG diagram (vlevo) a DAC diagram (vpravo) [20]

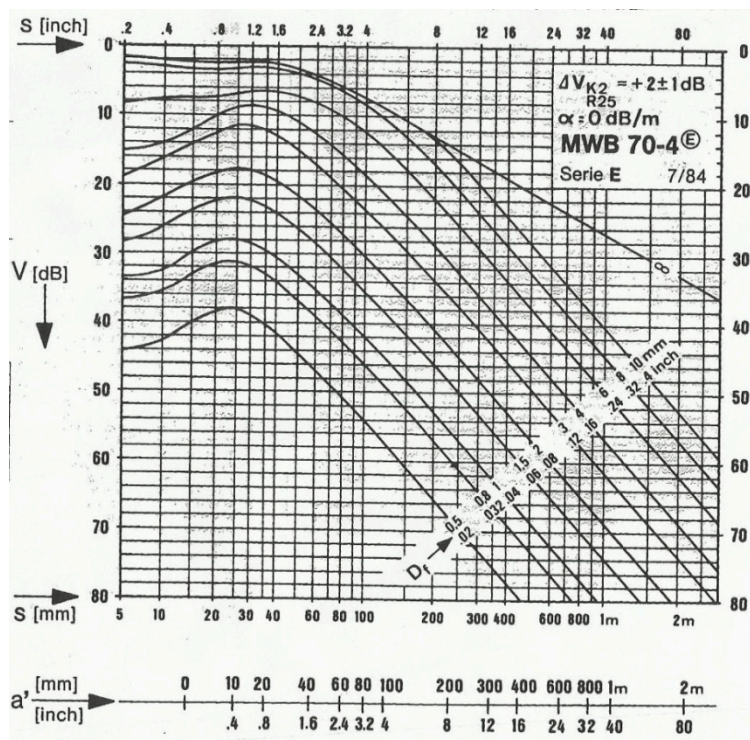
Kolejnice byla zkontrolována podélně i příčně po celé její délce, což zachycuje Obr. 4.6.



Obr. 4.6 Kontrola kolejnice pomocí UT

Dalším použitým přístrojem byl USM 25 S, který má rozsah frekvence 0,5 až 20 MHz. K přístroji byla připojena úhlová sonda MWB 70°, také 4 MHz viz Obr. 4.8. Opět dle standardního AVG diagramu (Obr. 4.7). Výsledky měření byly jednoznačné,

a to takové, že kolejnice je naprosto v pořádku, bez jakýchkoliv vad. To tedy potvrdilo onu teorii o měření pomocí MMM, viz výše. Díky negativnímu nálezů vad bylo možno přistoupit k tvorbě umělých vad na kolejnici.



Obr. 4.7 AVG diagram MWB 70°

Zdroj: Dokumentace Jiří Brus – BVD

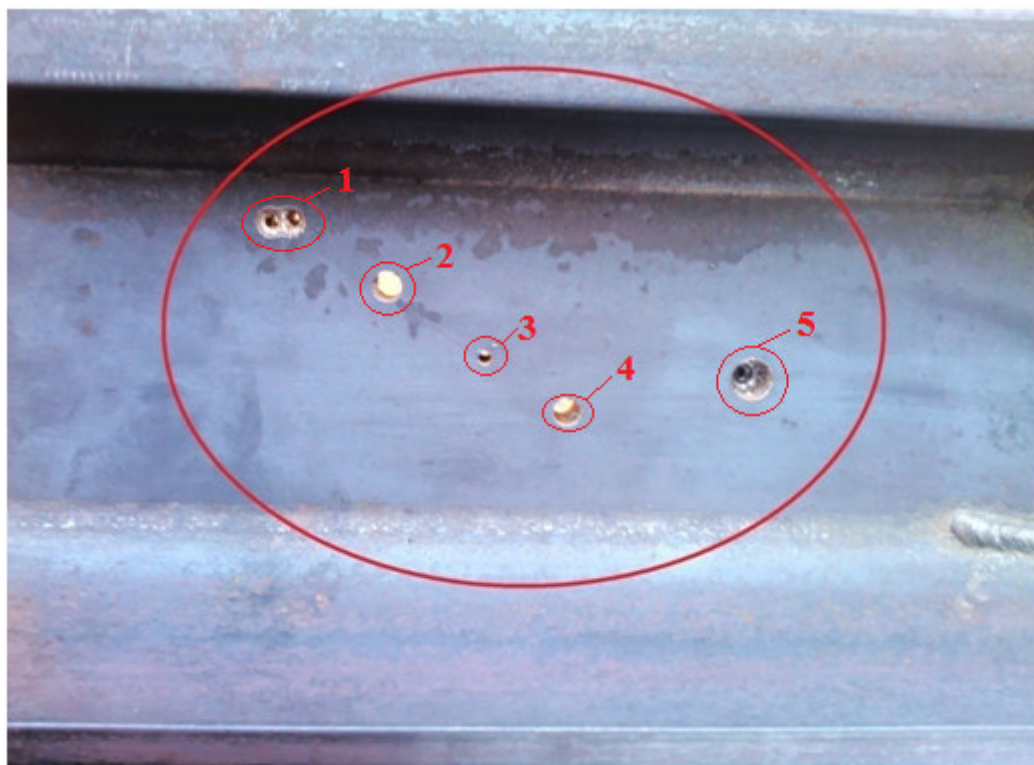




*Obr. 4.8 Měření metodou UT pomocí úhlové sondy*

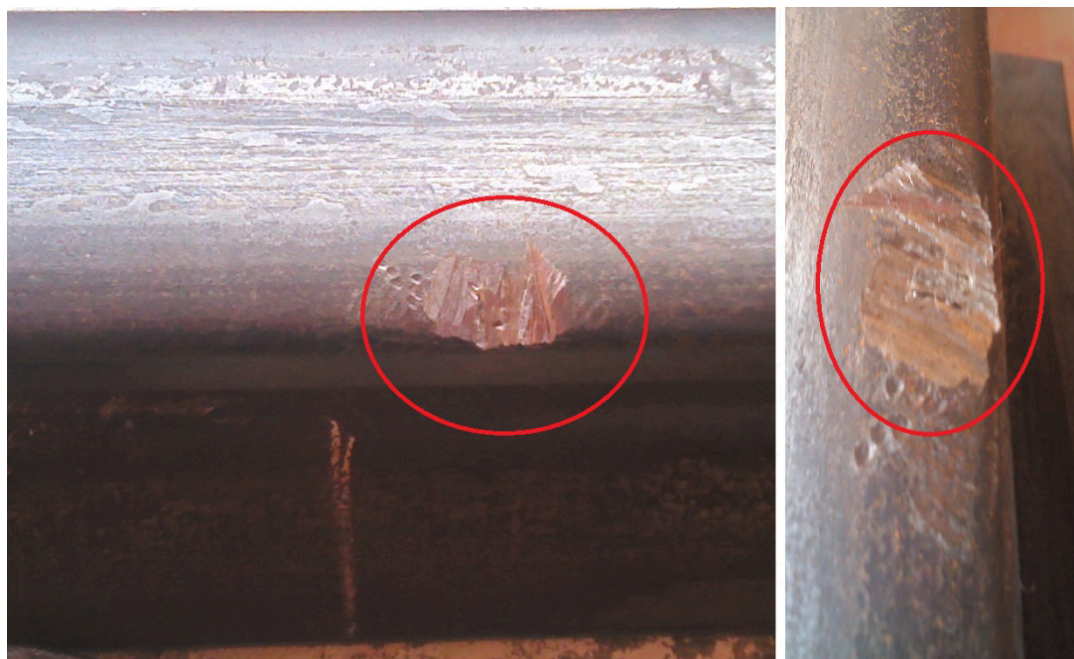
## **4.2 Vytvoření umělých vad**

Po konzultaci s vedoucím práce a panem Ing. Dariuszem Cymerysem bylo přistoupeno k tvorbě umělých vad. Vady bylo potřeba vytvořit tak, aby se kolejnice dala použít pro ilustrování metod NDT ke školním účelům a přizpůsobit je k dostupným měřicím přístrojům, kterými laboratoř disponuje. Zároveň bylo potřeba vybrat vady, které lze nasimulovat a nevychází přímo z provozního zatížení. Na základě těchto kritérií byly vytvořeny vady vyvrtáním několika otvorů simulujících vnitřní vady, jak lze vidět na Obr. 4.9. Tyto otvory byly vyvrtány ve firmě Dodávky automatizace spol. s.r.o., která se zabývá automatizační technikou a disponuje různým druhem náradí a strojů, mezi jinými také vertikální vrtáčkou, která byla schopna otvory vyvrtat. Otvory jsou různých velikostí, resp. různých průměrů a jsou rozmístěny úhlopříčně po cca 25 mm. Firma a její zaměstnanci byli velmi ochotní spolupracovat a vyhověli všem našim požadavkům. Vyvrtat otvory nebylo zcela snadné, vzhledem k velice houževnatému materiálu kolejnice.



*Obr. 4.9 Vyvrtné otvory simulující vnitřní vady kolejnice*

Dále byla vytvořena vada v podobě odlupování materiálu z pojížděné hrany tzv. Shelling viz Obr. 4.10, který zastupuje povrchové vady kolejnice.



*Obr. 4.10 Vytvoření simulované vady Shelling*



Na rozhraní paty a stojiny kolejnice, dále na rozhraní hlavy a stojiny kolejnice byly vytvořeny náhodné návary. Na patě kolejnice resp. na jeho rozhraní se stojinou byla snaha o vytvoření návaru správných vlastností. Ovšem na rozhraní hlavy a stojiny kolejnice byl vytvořen návar s opačným záměrem, tedy špatných vlastností. Návary se provedly pomocí ručního obloukového svařování s obalenou elektrodou, která byla dostupná v rodinné garáži, a návary byly vytvořeny mým otcem, který je zkušený a vyučený zámečník, pracující v tomto oboru již 42 let. Návary je možno vidět na Obr. 4.11.



*Obr. 4.11 Návary zhotovené ručním obloukovým svařováním s obalenou elektrodou*

Další vady lze vidět na Obr. 4.12 reprezentující povrchové vady vytvořené za účelem znázornění povrchových vad pomocí NDT metod pro studenty VŠB – TU Ostrava. Cílem těchto vytvořených vad je nasimulování nevyhovujícího stavu povrchu kolejnice. V praxi se tyto vady odhalují pomocí vizuální kontroly a vířivých proudů. V laboratoři VŠB – TU Ostrava lze ukázat studentům další využití NDT metod na odhalení povrchových vad jako je např. magnetická metoda a kapilární metoda. Je třeba dávat pozor na použití magnetické metody, při které dochází k zmagnetizování zkoumaného objektu. Po použití magnetické metody sice dochází k odmagnetování objektu, to však není stoprocentní. Tím by mohla být ovlivněna další ukázka metody MMM, která je velmi

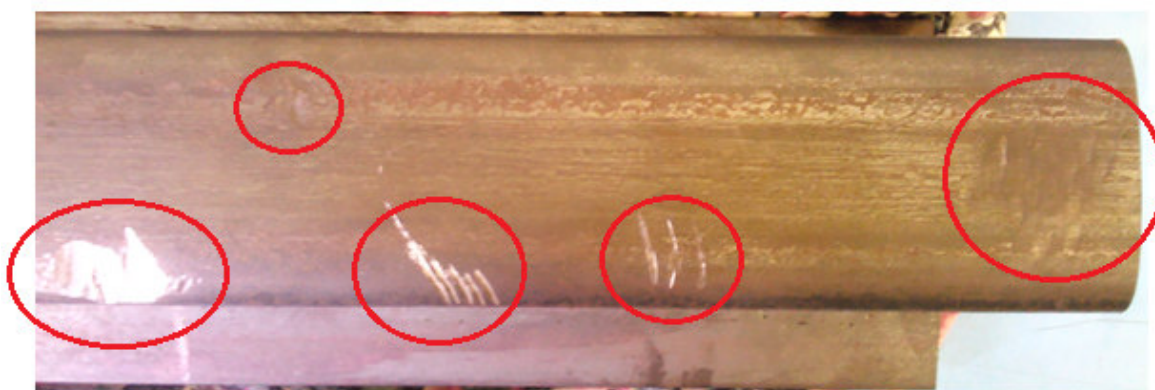
citlivá na intenzitu magnetického pole a měření by mohlo být dosti zkreslené. Proto nebude v rámci této diplomové práce magnetická kontrola využita.

### 4.3 NDT kontrola

Po vytvoření umělých vad bylo přistoupeno k samotnému měření kolejnic pomocí metod NDT používajících se pro objektivizaci stavu tratě. Principiálně jsou metody popsány v kap. 2 a bude provedeno měření inovativní metodou – magnetická paměť kovu, jejíž princip je popsán v kap. 3.

#### 4.3.1 Vizuální kontrola (VT)

První metodou je vizuální kontrola. Ta se provedla a jak lze vidět na Obr. 4.12, tak jsou povrchové vady zcela viditelné a v provozu musí dojít k jejich nápravě.



*Obr. 4.12 Nasimulované povrchové vady na kolejnici*

#### 4.3.2 Vířivé proudy (ET)

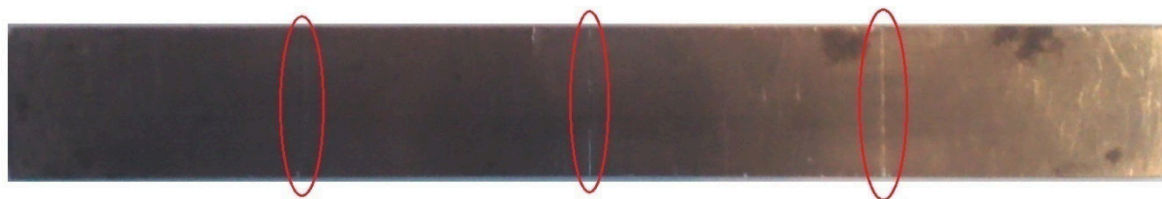
Pro povrchové a podpovrchové vady se využívá metoda vířivých proudů. K měření byl použit přístroj Olympus Nortec 500 D, který patří mezi nejmodernější a nej kvalitnější přístroje. Jeho předností je velký barevný LCD displej, dále frekvenční rozsah v rozmezí od 50 Hz až 12 MHz. Obsahuje předzesilovač a má automatické rozpoznávání sondy. Přístroj byl nastaven na 80 % obrazovky a byl kalibrován na drážce 1 mm. Použitá byla sonda Olympus MP 901 - 50 Fx s frekvenčním rozsahem 50 kHz – 500 kHz, centrální frekvence 200 kHz a typem konektoru 7-pin LEMO Powerlink. Tyto povrchové sondy mají menší průměr a cívky jsou konstruovány na vyšší frekvence. Aplikace jsou obvykle limitovány povrchovými vadami, vzhledem k malé velikosti cívky o velkých frekvencích.

Další použitou sondou byla Olympus WLD 8 – 55 TF o frekvenci 100 kHz až 600 kHz. Jedná se o svarovou sondu, v tomto případě byla však použita ke kontrole povrchu kolejnice. Průměr sondy je 8 mm a délka 5,5 mm.



*Obr. 4.13 Přístroj pro měření vířivými proudy Olympus Nortec 500 D (nahore) a použité sondy Olympus MP 901 - 50 Fx (vlevo) a Olympus WLD 8 - 55 TF (vpravo) [24]*

Kalibrace přístroje byla provedena na etalonu (měrce), který lze vidět na Obr. 4.14, a jehož vlastnosti jsou uvedeny v Tab. 4.1. Při měření se hledaly vady v rozmezí od 0,2 mm do 0,5 mm. Během měření však došlo k zjištění, že vzhledem k povrchu kolejnice, který je poznamenán povrchovými nerovnostmi způsobené válcováním, nelze zcela určit, zda se jedná o vadu, či nerovnost. Výstup z přístroje indikoval vady v celém rozsahu hlavy kolejnice, což znamená velkou nereprodukovatelnost. Pro měření by bylo potřeba vyleštit povrch kolejnice, čímž by se odstranily povrchové nerovnosti od válců. V provozu jsou povrchové nerovnosti způsobené válcováním odstraněny (vyhlazeny) projížděním kolejových vozů a lze měřit vířivými proudy bez nežádoucích indikací. Po výrobě se kolejnice kontrolují automatizovanou linkou využívající metodu ET, rozdíl je pravděpodobně v kalibraci přístroje, případně linky.



Obr. 4.14 Etalon (měrka)

Evidenční číslo	Materiál	Drážka			
		Šířka		Hloubka	
		Požadavek ± tolerance	Naměřená hodnota	Požadavek	Naměřená hodnota
29A028 BVD 3	FeEN 1A				
		0,2 max. 0,2	0,112	0,2 <sup>±0,030</sup>	0,214
				0,5 <sup>±0,075</sup>	0,532
				1,0 <sup>±0,150</sup>	0,999

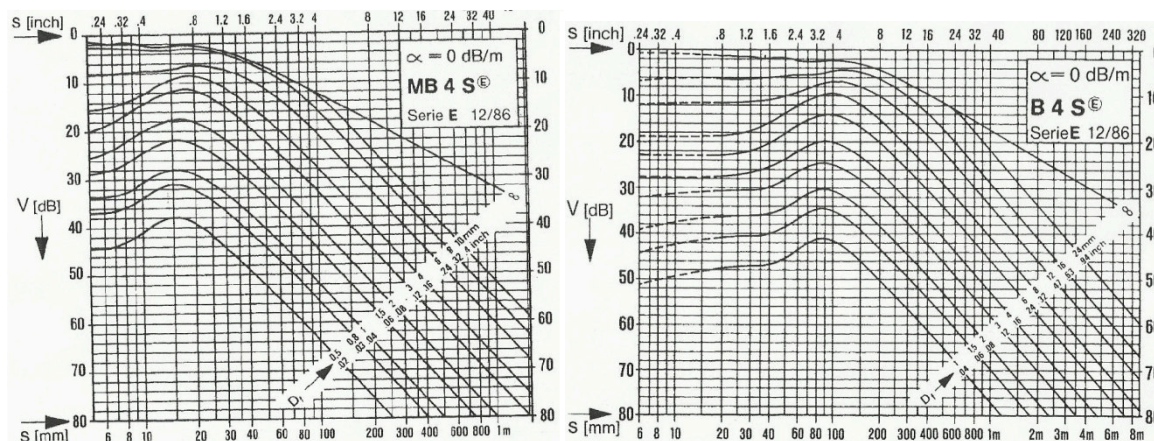
Tab. 4.1 Etalon (měrka)

Zdroj: Dokumentace Jiří Brus – BVD

#### 4.3.3 Ultrazvuková kontrola (UT)

Další NDT metodou používanou na kolejnicích je ultrazvuk. Ten je především na odhalení vnitřních vad materiálu, proto se pomocí UT kontrolovala pouze oblast, kde byly vyvrtány otvory ve stojině kolejnice, viz Obr. 4.9. Ke kontrole byl použit výše zmíněný přístroj USM 25 S. Byly použity dva druhy sond, a to velká B 4 S s měničem o průměru 24 mm a malá MB 4 S s měničem o průměru 10 mm. Přístroj byl nastaven na standardní AVG diagram pro náhradní velikost 3 mm. V tomto případě se mělo provést vyhodnocení pomocí DAC diagramu, ale bohužel není k dispozici. Proto se vyhodnocení provedlo dle AVG diagramu, zejména pro demonstrovatelnost, vzhledem k velikostem průměrů a vzdálenostem vad.

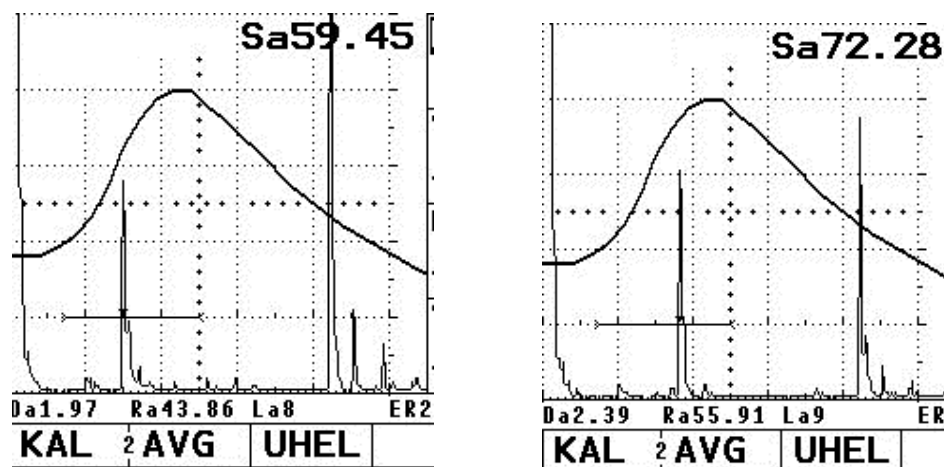




Obr. 4.15 AVG diagramy MB 4 S (vlevo) a B 4 S (vpravo)

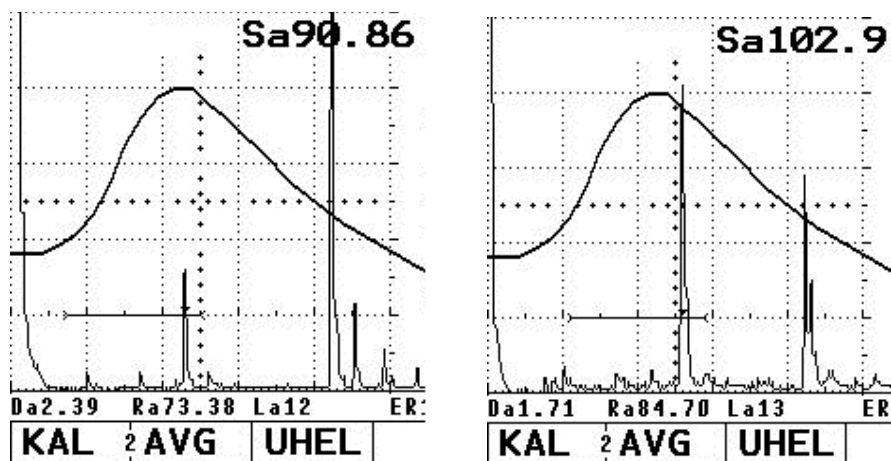
Zdroj: Dokumentace Jiří Brus – BVD

Na Obr. 4.16 (vlevo) je vidět echogram kolejnice zaznamenávající vnitřní vadu resp. zachycuje vyvrtaný otvor 1. První echo (vlevo) je vadové, druhé (vpravo) je echo koncové. Přístroj detekoval i hloubku, ve které se vada nachází, konkrétně 59,45 mm pod povrchem. Na Obr. 4.16 (vpravo) je vidět opět echogram se zachyceným vyvrtaným otvorem 2, který je v hloubce 72,28 mm.



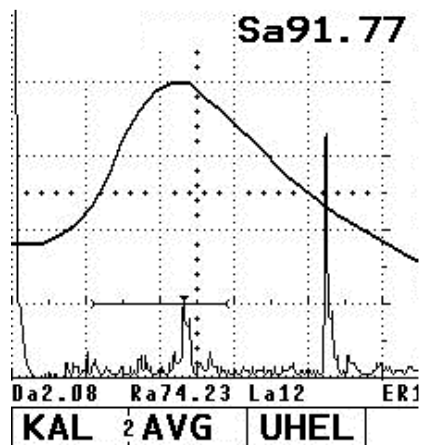
Obr. 4.16 Echogramy vnitřních vad 1 (vlevo) a 2 (vpravo)

Na dalším Obr. 4.17 je vlevo echogram vyvrtaného otvoru 3, který se nachází v hloubce 90,86 mm a díky menšímu průměru a větší hloubce, než otvory 1 a 2, je echo méně výrazné, ale přesto ultrazvukem zachytitelné. Vpravo je echogram otvoru 4, na kterém je vadové echo velmi výrazné. Způsobeno je to především větším průměrem otvoru 4 oproti otvoru 3 a vliv na to nemá ani větší hloubka, která je 102,9 mm.



Obr. 4.17 Echogramy vnitřních vad 3 (vlevo) a 4 (vpravo)

Poslední měřený otvor 5 je zobrazen na echogramu viz Obr. 4.18. Ten ukazuje méně výrazné vadové echo, což je způsobeno především odlišným průměrem vyvrtaného otvoru a hloubky 91,77 mm. Na vadovém echu je možno pozorovat odlišný průměr vnitřní vady resp. změnu velikosti průměru. V první fázi ukazuje vadové echo větší průměr vady, než vadové echo druhé, kde je vidět pokles a tedy přechod z většího průměru na menší. Na konci echogramu je opět koncové echo.



Obr. 4.18 Echogram vnitřní vady 5

#### 4.3.4 Prozařování (RT)

Jako poslední proběhla kontrola vytvořených návarů, viz Obr. 4.11. Ta se provedla pomocí prozáření. Použitý prozařovač byl Iridium Ir - 192 s aktivitou ke dni měření 53,35 Ci, resp. 1,97 TBq s poločasem rozpadu 73,83 dní, což je doba, za kterou se aktivita sníží o polovinu. Na kolejnici byl umístěn film v oblasti návarů, viz Obr. 4.19, uchycen

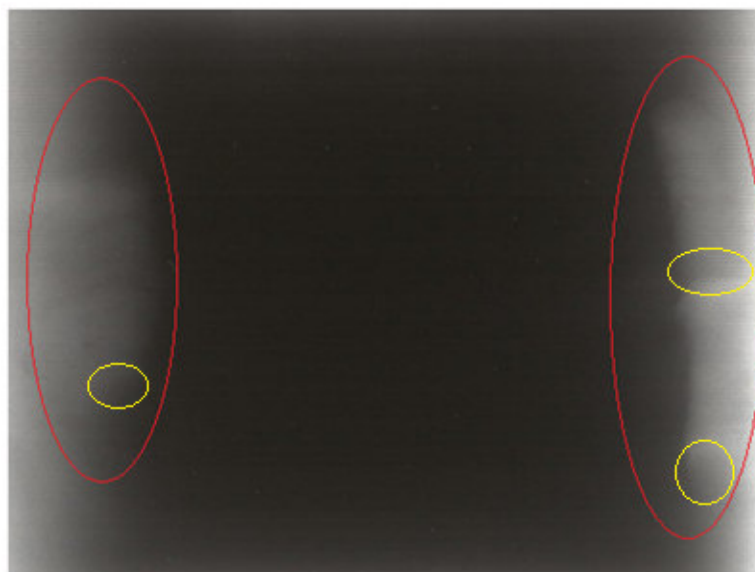


pomocí magnetů. Poté se umístil prozařovač ve vzdálenosti 400 mm od kolejnice, což se nazývá "fokus". Doba prozáření byla 2 minuty.



*Obr. 4.19 Umístění snímku (vlevo) a umístění prozařovače (vpravo)*

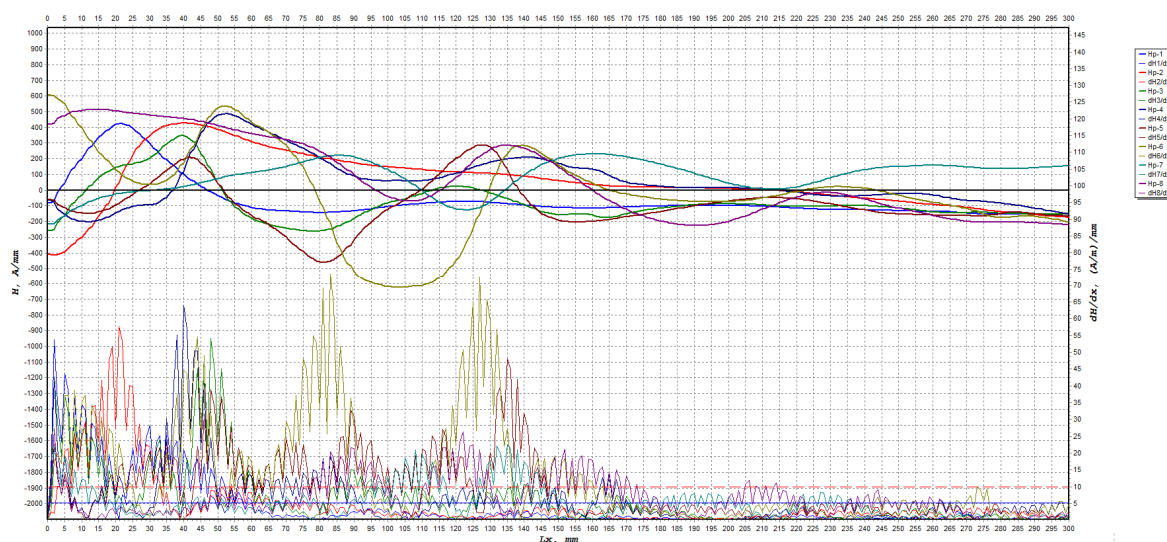
Rentgenový film (snímek) byl použit AGFA s citlivostí 5D s jemným zrnem a vysokým kontrastem. Jedná se o standardní film pro široké použití. Zpravidla se využívá pro kontrolu svarů, odlitků, všeobecné strojírenství a lodní průmysl. Expoziční doba je závislá na teplotě vývojky. V tomto případě byla teplota vývojky 21°C a expoziční doba byla 5,5 minut. Vyvolání filmu proběhlo dle standardního postupu, který je popsán v kap. 2.4. Na Obr. 4.20 je vidět vyvolaný film zkoumaných návarů, kde je v označených místech vidět zčernání, které poukazuje na malý úbytek materiálu. Jinak jsou návary bez vměstků, bublin, pórů apod. a lze je označit za návary s dobrými vlastnostmi.



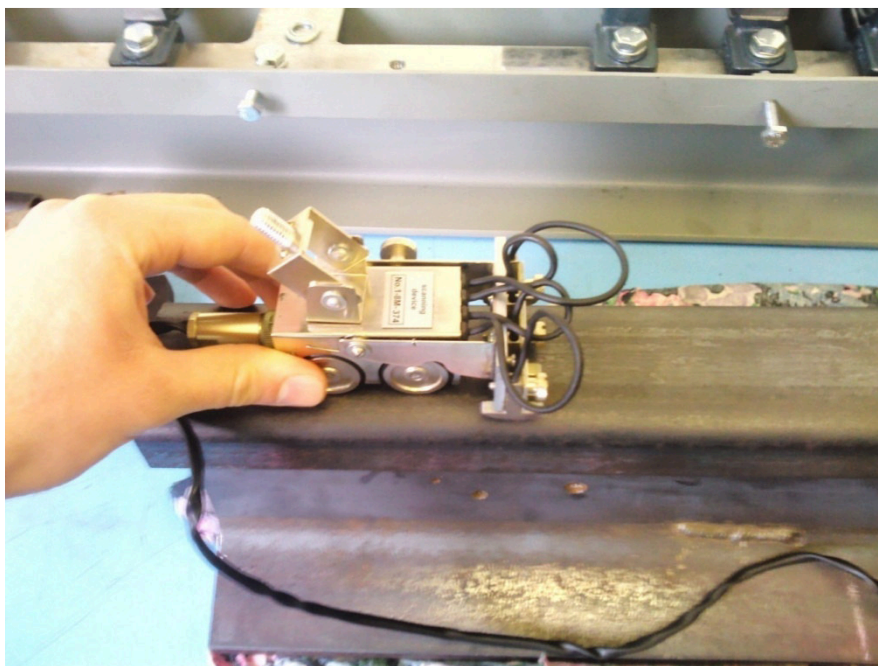
*Obr. 4.20 Rentgenový film zachycující návary kolejnice*

### 4.3.5 Magnetická paměť kovu (MMM)

Mimo výše zmíněných NDT metod používaných běžně na kolejnici došlo k měření pomocí inovativní metody magnetické paměti kovu. Měření proběhlo v laboratoři VŠB – TU Ostrava. MMM změřilo simulované vnitřní vady v podobě vyvrtaných otvorů, viz Obr. 4.9. Na magnetogramu (Obr. 4.21) jsou vidět výrazné změny intenzity magnetického pole a jeho gradientu v místech vad. Díky tomu lze jednoznačně určit jejich pozitivní nález. V takovém případě se přistupuje ke kontrole jinou metodou pro potvrzení správnosti měření, především ultrazvukem. Ten se provedl a měření je vyhodnoceno viz výše. Magnetogram zachycuje vzdálenost ( $L_x$ ) vad od počátku měření, mezi jednotlivými vadami a koncem, považovanou za velkou výhodu měřící metody. Na obrázku 4.22 je vidět kontrola prováděná na kolejnici.



Obr. 4.21 Magnetogram vnitřních vad kolejnice



*Obr. 4.22 Kontrola kolejnice metodou MMM*

Povrchové vady na kolejnici jsou viditelné na první pohled, bylo však přistoupeno k jejich měření pomocí MMM. K překvapení došlo u měření vady, viz Obr. 4.10, která nebyla sondami vůbec zachycena, resp. nedošlo ke změně intenzity magnetického pole i přesto, že došlo k porušení struktury materiálu. Další uměle vytvořené povrchové vady, u kterých nedošlo k větší poruše struktury materiálu, nebyly rovněž zachyceny. Povrchová vada, kterou MMM bylo nakonec schopné indikovat, byla vytvořena silnými údery kladivem. To způsobilo dostatečné porušení struktury materiálu a změnu intenzity magnetického pole, které lze vidět na magnetogramu (Obr. 4.23), kdy gradient přesáhl stanovenou mez 10.



*Obr. 4.23 Magnetogram povrchové vady s detailem vady*

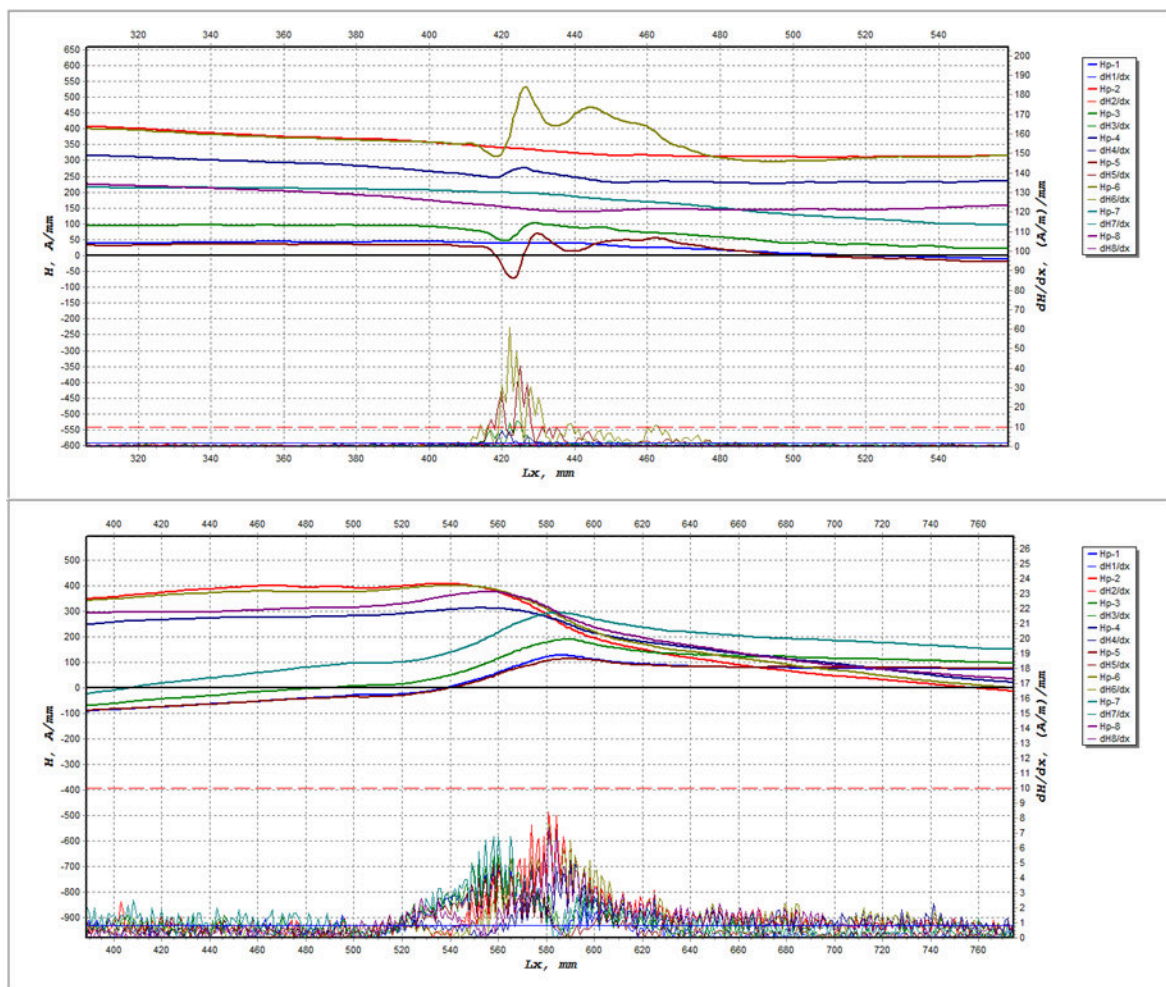


V rámci měření pomocí MMM bylo přistoupeno k měření v provozu, kde byla vybrána neelektrifikovaná trať, na které probíhá provoz sloužící k nákladní přepravě a nachází se v Ostravě – Vítkovicích. Trať není používána v pravidelných intervalech, pro potřebné účely je však dostatečně vyhovující. Nejprve byla provedena vizuální kontrola celého úseku zkoumané trati měřicí přibližně 200 m. Poté byla použita metoda MMM a měřicí přístroj Energodiagnostika IKN-3M-12 s 8-kanálovým snímačem (Obr 4.1). Na zkoušeném úseku byly zjištěny dvě možné poruchy, ve stejném místě obou kolejnic, které vykazovaly evidentní stopy opotřebení hlavy kolejnice. Opotřebení způsobilo odlupování materiálu, které zapříčinily opakované rázy od kol železničních vozidel. Vady na kolejnicích lze vidět na Obr. 4.24.



*Obr. 4.24 Levá a pravá kolejnice s nalezenou povrchovou vadou [14]*

Obě inkriminovaná místa byla podrobena měření pomocí magnetické paměti kovu, kde byla zjištěna velká změna intenzity magnetického pole. Výsledky měření zobrazují magnetogramy (Obr. 4.25), na kterých je jasně patrné, že na levé kolejnici je gradient intenzity magnetického pole mnohonásobně větší, než na kolejnici pravé. Z magnetogramu levé kolejnice lze také vyčíst údaj o gradientu intenzity magnetického pole převyšující rizikovou mez až šestinásobně, což poukazuje na šíření vnitřní vady, jelikož došlo i ke změně polarit intenzity magnetického pole. Oproti levé kolejnici je na pravé kolejnici gradient pod rizikovou mez, což vede k teorii, že se v inkriminovaném místě prozatím nevyskytuje vnitřní vada a nedochází k jejímu šíření.



Obr. 4.25 Magnetogram levé kolejnice (horní) a pravé kolejnice (dolní) [14]

## 5 ZÁVĚR

Pro zjištění stavu železniční tratě jsou nedestruktivní metody technické diagnostiky nezbytné. Jejich schopnost odhalení povrchových, podpovrchových a vnitřních vad je v dnešní době důležitým aspektem bezpečnosti nejen v železniční dopravě. Neustálým vývojem nových technologií dochází k modernizaci a zlepšování měřících přístrojů a sond. Každá metoda má svá specifická omezení, proto se doporučuje jejich kombinace, čímž je zajištěna větší spolehlivost kontroly. V rámci zkvalitnění a zrychlení NDT kontrol přichází inovativní metody, které by měly těchto vlastností docílit. Není však lehké přizpůsobit inovativní metodu na okamžité zakomponování do provozu a je potřeba dlouhých výzkumů a zkoušek, před jejich začleněním.

Tato práce se zabývá použitím NDT metod na kolejnicích. Běžně se používající metody nedestruktivní technické diagnostiky na kolejnicích jsou popsány v kapitole 2. Inovativní metoda, která by se na kolejnicích mohla začít používat, se nazývá magnetická paměť kovu. MMM se postupně rozšiřuje do všech odvětví, ve kterých může být použita a jinak tomu není ani v železniční dopravě. Snahou diplomové práce bylo přenést teoretické poznatky do praktického využití na kolejnicích. Velmi nápomocny byly Trinecké železářny a.s., které poskytly 600 mm dlouhou kolejnici k těmto účelům. Kolejnice byla z výroby bez poškození, což vedlo k vytvoření umělých vad. Zde byla nápomocná společnost Dodávky a automatizace spol. s.r.o., která pomohla s vyvrtáním otvorů simulujících vnitřní vady kolejnic. Samotná kontrola kolejnice proběhla v laboratoři VŠB – TU Ostrava a ve firmě Jiří Brus – BVD.

Běžně používané metody nedestruktivní technické diagnostiky na kolejnicích (VT, ET, UT, RT) jsou osvědčeny praxí. Není tomu tak v případě inovativní metody MMM, která prozatím hledá svá uplatnění. V rámci diplomové práce byla metoda magnetické paměti kovu využita ke kontrole kolejnice, jednak v laboratorních podmínkách, tak i v provozu. Vnitřní vady, v podobě vyvrtaných otvorů ve stojině kolejnice, zachytilo MMM takřka dokonale. V odhalení umělých povrchových vad však metoda MMM nebyla úspěšná a povrchové vady se jí nepodařilo výrazně odhalit. Uměle vytvořené vady nejsou zřejmě schopny nasimulovat vady reálné, které vzniknou v provozu. V provozním měření se MMM rovněž osvědčilo a prokazatelně odhalilo vnitřní vadu kolejnice. Postupně



se rozvíjející uplatnění magnetické paměti kovu nemine ani inspekci kolejnic, otázkou ale zůstává, kdy tomu tak bude.

## 6 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KOPEC, B. *Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí: (Nauka o materiálu IV)*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008, 571 s. ISBN 978-80-7204-591-4.
- [2] LEWIŃSKA-ROMICKA, A. *Badania nieniszczące: podstawy defektoskopii*. 1. vyd. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 2001, 600 s. ISBN 83-204-2641-3.
- [3] BOHÁČOVÁ, M. *Rešerše NDT metod používaných v letectví*. Praha: Výzkumný a zkušební letecký ústav, 2011, 8 s.
- [4] BLATA, J., JURASZEK, J. *Metody technické diagnostiky – teorie a praxe*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita, 2013. 131 s.
- [5] Regazzo, R., Regazzová, M. *Základy ultrazvuku*. Zeleneč: R&R NDT, 2012, 235 s.
- [6] Cymerys, D. *Aplikace nedestruktivních metod technické diagnostiky pro objektivizaci technického stavu letadel (DP)*. Ostrava: VŠB – TUO, 2013, 72 s.
- [7] Kníř, J. *Nedestruktivní metody kontroly vybraných dílů letadel (BP)*. Brno: VUT v Brně, 2010, 59 s.
- [8] České dráhy, s.o., Divize dopravní cesty, o.z., Sekce stavební. *Vady a lomy kolejnic (ČD S 67)*. Praha: DEBORA, spol. s r.o. 1997, 120 s
- [9] České dráhy, s.o., Divize dopravní cesty, o.z., Sekce stavební. *Nedestruktivní zkoušení kolejnic (ČD S 3/4)*. Praha: DEBORA, spol. s r.o. 1997, 91 s
- [10] České dráhy, s.o., Divize dopravní cesty, o.z., Odbor stavební. *Bezстыková kolej (ČD S 3/2)*. Praha: České dráhy, s.o., Divize dopravní cesty, o.z. Technická ústředna dopravní cesty. 2002, 91 s
- [11] TechMagazín. *Metody nedestruktivního zkoušení*. Praha: TECH MEDIA PUBLISHING s.r.o., 2011, 15 s.
- [12] Žižka, J. *Materiály pro kolejnice a výhybky (srdcovky, jazyky, přípojnice šrouby a další)*. Praha: ČVUT v Praze, 2009, 19 s.

- [13] Týfa, L. *Bezstyková kolej*. Praha: ČVUT v Praze, 2011, 7 s.
- [14] Cymerys, D. *Možnosti využití metody magnetické paměti kovu pro provozní diagnostiku kolejnic*. Ostrava: VŠB – TUO, 2014, 6 s.
- [15] Šroub, J. *Metoda vířivých proudů*. Plzeň: ZČU v Plzni, 2003, 10 s.
- [16] *Metal Magnetic Memory Method for metals diagnostics*. [online], [cit. 29. března 2014]. Dostupné z WWW.:  
<[http://www.ktsnp.com/Korean/PDF/MMM\[1\].pdf](http://www.ktsnp.com/Korean/PDF/MMM[1].pdf)>
- [17] *Ultrazvuková kontrola kolejnic*. [online], [cit. 18. března 2014]. Dostupné z WWW.: <<http://testima.eu/index.php>>
- [18] *Kontrola vířivými proudy na železnici*. [online], [cit. 13. března 2014]. Dostupné z WWW.: <<http://testima.eu/index.php>>
- [19] *Advanced Technology Group*. [online] [cit. 24. února 2014]. Dostupný z WWW.:  
<<http://www.atg.cz>>
- [20] *Nedestruktivní defektoskopie NDT*. [online] [cit. 26. února 2014]. Dostupný z WWW.: <<http://www.ndt.cz>>
- [21] *Železničný zvršok, 1. časť – úvod* [online], [cit. 18. března 2014]. Dostupné z WWW.: <<http://www.vlaky.net/zeleznice/spravy/002319-Zeleznicny-zvršok-1-cast-uvod/>>
- [22] *Železničný zvršok, 2. časť – koľaj* [online], [cit. 18. března 2014]. Dostupné z WWW.: <<http://www.vlaky.net/zeleznice/spravy/002413-Zeleznicny-zvršok-2-cast-kolaj/>>
- [23] *Železničný zvršok, 3. časť – výhybky a koľajové križovatky* [online], [cit. 18. března 2014]. Dostupné z WWW.:  
<<http://www.vlaky.net/zeleznice/spravy/002481-Zeleznicny-zvršok-3-cast-vyhybky-a-kolajove-krizovatky-diel-prvy/>>
- [24] *Energodiagnostika – Metal Magnetic Memory*. [online], [cit. 22. března 2014]. Dostupné z WWW.: <<http://www.energodiagnostika.com/Default.html>>
- [25] *Průmyslové přístroje Olympus*. [online], [cit. 10. dubna 2014]. Dostupné z WWW.: <<http://www.olympus-ims.com/>>

- [26] *Railect*. [online], [cit. 22. března 2014]. Dostupné z WWW.:  
<<http://www.railect.com/>>